



**André Filipe Poiarez Nunes**

Licenciado em Engenharia do Ambiente

**A avaliação da sustentabilidade das  
infraestruturas de defesa costeira com recurso  
à utilização de veículos aéreos não tripulados  
e modelação 3D**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia de Sistemas  
Ambientais

Orientador: Prof. Doutor José Carlos Ribeiro Ferreira, Professor  
Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade  
Nova de Lisboa

Co-orientador: Engenheiro António Mota Lopes, Técnico  
Superior – Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Júri:

Presidente Prof. Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas

Arguente: Prof. Doutor José António Pereira Tenedório

Vogal: Prof. Doutor José Carlos Ribeiro Ferreira



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro de 2017**

Copyright 2017, André Filipe Poiarez Nunes, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor José Carlos, por me ter apresentado a este novo desafio, bem como a despertar-me enorme um interesse pelo litoral português. Agradecer pela sua orientação, ensinamentos e sempre o seu bom humor durante todo o curso.

Ao Engenheiro António Mota Lopes, pela sua dedicação, espírito crítico e orientação durante a presente dissertação. De referir também aos ensinamentos, essencialmente durante a hora de almoço, nomeadamente sobre física quântica, política e qualquer outro assunto de carácter vacilante.

Agradecer à APA, pela oportunidade da realização de um estágio, bem como ao fornecimento de diversos materiais sem os quais era impossível a realização deste trabalho. Em especial, um obrigado aos colegas do meu gabinete, ao Cruz e ao Marco.

Um agradecimento à FCT NOVA, nomeadamente a todos os professores e colegas que me acompanharam durante a minha vida académica. Aos ensinamentos enriquecedores de matriz não só ambiental, mas também morais.

Um agradecimento muito especial à minha família, por serem o apoio que sempre precisei, mesmo com altos e baixos durante a presente dissertação, sempre me puxaram para cima. Tudo o que sou hoje é graças a vocês.

Um obrigado carinhoso aos meus amigos, em especial ao Zé Manel, Gonçalo, Carrilho e Galego. Por fim, um agradecimento à Rita, por toda a dedicação, apoio e paciência que colocou na presente dissertação.





## RESUMO

A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para a monitorização de sistemas costeiros (artificiais ou naturais), embora já não sendo “*the latest thing in technology*”, acaba por se revelar de uma enorme utilidade enquanto ferramenta de apoio à gestão costeira. Estes equipamentos, *softwares* de processamento e análise de dados já se encontram relativamente vulgarizados e, quando aplicados à gestão costeira em áreas muito específicas, permitem obter resultados que acabam por criar um amplo espaço de trabalho no qual há muito para explorar e que é tema de fundo do presente trabalho.

De acordo com dados do Grupo de Trabalho do Litoral (2014), entre 1995 e 2015, foram gastos em obras de defesa costeira na ordem dos 196 M€ e, de 2015 a 2050, são projetados gastos de 450 M€. Na alimentação artificial estimam-se investimentos da ordem dos 432 M€ até 2050. O mesmo grupo refere ainda que nas estratégias de adaptação costeira a implementar, para além da proteção costeira e acomodação, não se pode excluir cenários de retirada de frentes urbanas em zonas de risco.

Percebe-se assim a importância que a monitorização de sistemas costeiros com precisão centimétrica terão no apoio à decisão em estratégias de adaptação a médio e longo prazo, já que estamos a falar de opções que não só envolvem muitos milhões de euros como pode estar em causa a vida de pessoas. Tais metodologias poderão gerar poupanças muito significativas, para além da importância que tem direta na gestão de obras e em opções ao nível do ordenamento do território.

Este trabalho resultou de um estágio realizado na Agência Portuguesa do Ambiente, na qual foi explorado um modelo de avaliação e monitorização de obras de defesa costeira, utilizando imagens obtidas com recurso a VANT e com pós-processamento através da utilização de *softwares* disponíveis no mercado. Esta proposta consiste numa metodologia de monitorização de obras de defesa costeira (esporões, obras aderentes, quebramares destacados, entre outros), mas que pode ser estendida à monitorização de sistemas naturais (arribas, dunas, praias, entre outros.), e mesmo outros temas como sejam usos do solo ou atividades. Esta metodologia apresenta os procedimentos necessários para a obtenção de dados para apoiar áreas específicas da monitorização costeira com recurso às tecnologias emergentes neste domínio e que vai desde o planeamento da sua missão até à obtenção e análise de resultados visuais e quantitativos.

Para a presente dissertação foram utilizados como casos de estudo os esporões EV1 e EV2 da Cova do Vapor no concelho de Almada face à sua proximidade e por serem representativos da metodologia a explorar. Para análise da evolução destes esporões, foram analisadas ortofotografias de 2008/14-15 e levantamentos LIDAR de 2011 e comparados com levantamentos realizados pelo VANT em 2017. Através do método dos perfis, para o EV2 obteve-se uma variação volumétrica total de 2961,21 m<sup>3</sup>, sendo que 63% ocorreu na cabeça da obra, 28% no corpo e 9% no enraizamento. Destas variações ocorridas, 65% ocorreram na

face norte do esporão, enquanto os restantes 35% a sul do mesmo. Através do método da variação da altura dos pixéis, estes mesmos valores tiveram um desvio de 11% com a seguinte distribuição: 54% das alterações a incidir na cabeça do esporão, 44% ao seu corpo e cerca de 2% na raiz. Relativamente à cabeça do EV1, da utilização do método dos perfis, foi calculado uma variação de 1 698,54 m<sup>3</sup> e, segundo o método da variação da altura dos pixéis, 1 452,21 m<sup>3</sup>, com maior incidência na frente e a sul da cabeça do esporão. Os resultados evidenciaram um comportamento estrutural consistente dos esporões já que a maior variabilidade coincide com a zona mais exposta à agitação do mar e das correntes, nomeadamente na frente e a norte no EV2 e na frente e a sul do EV1.

A presente metodologia, por permitir perceber a variabilidade de forma muito pormenorizada da morfologia costeira, seja natural seja artificial, a baixos custos e com importante relevância no apoio ao projeto e gestão de obras costeiras, permitirá disponibilizar indicadores muito precisos sobre volumes de acreção e erosão em extensos trechos costeiros de forma expedita, sejam arribas, sistemas dunares ou sistemas artificiais. Através desta pretende-se perceber-se, por exemplo, quais os efeitos em termos de variabilidade da morfologia costeira para determinada tempestade, se as políticas de sedimentos estão a ter sucesso em determinado local ou locais, apoiar a modelação duma frente urbana em risco na dissipação da energia das águas, calibrar modelos e ajudar a definir soluções mais eficazes a médio e longo prazo. Enfim, a possibilidade da aplicação desta metodologia técnica parece ser de tal importância que justifica que as entidades responsáveis pela gestão costeira avaliem a sua utilidade em múltiplas frentes e assim e dar corpo à Recomendação do GTL sobre a necessidade de existir conhecimento que melhor permita fundamentar estratégias de adaptação.

**Palavras-chave:** VANT, Análise Visual, Análise Quantitativa, Sistema de Defesa Costeiros, Vulnerabilidade, Modelo Digital de Terreno, Ortomosaicos, Processamento 3D, Esporões, Monitorização.

## ABSTRACT

The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for the monitoring of coastal systems (artificial or natural), although no longer being the "latest thing in technology" or requiring the use of top-of-the-range of enormous utility as a tool to support coastal management. This equipment, data processing and analysis software, which is already relatively popular, when applied to coastal management in very specific areas, allows results to be created that create a large space of work and where there is much to explore and which is the subject of background of the present work.

According to data from the GTL (2014) between 1995 and 2015, it has been spent on coastal defense works approximately 196 M € and from 2015 to 2050 are projected expenditures of 450 M €. In artificial feeding, investments in the order of € 432 million are estimated up to 2050. The same group also points out that in the coastal adaptation strategies to be implemented, in addition to coastal protection and accommodation; it is not possible to exclude scenarios for the removal of urban fronts in areas at risk.

It is thus perceived the importance that the monitoring of coastal systems with centimetric precision will have in supporting the decision in medium and long-term adaptation strategies, since we are talking about options that not only involve many millions of euros as it may be concerned the lives of people. Such methodologies could generate significant savings, in addition to the importance of direct management of works and options in terms of land use planning

This thesis resulted from an internship at the Portuguese Environment Agency, which explored a model for the evaluation and monitoring of coastal defense works using images using UAV, and post-processing through the use of software available in the market. This proposal consists of a methodology for monitoring coastal defense works (spurs, adherent works, etc.), but can be extended to monitoring natural systems (cliffs, dunes, beaches, etc.), and even other topics such as land uses or activities. This methodology presents the necessary procedures for obtaining data to support specific areas of coastal monitoring using emerging technologies in this area ranging from the planning of its mission to obtaining visual and quantitative results.

For the present dissertation, the groins EV1 and EV2 of the Vapor Pit were used as case studies in the municipality of Almada due to their proximity and because they are representative of the methodology to be explored. For analysis of the evolution of these spurs, orthophotographs of 2008 / 14-15 and LIDAR surveys of 2011 were analyzed and compared with surveys performed by the VANT in 2017. Through the profiles method, for EV2 a total volumetric variation of 2961 was obtained, 21 m<sup>3</sup>, with 63% occurring at the head of the work, 28% in the body and 9% in rooting. Of these variations, 65% occurred on the north face of the spur, while the remaining 35% occurred south of the spur. Through the pixel height method, these same values had a deviation of 11% with the following distribution: 54% of the changes to

the spur head, 44% to its body and about 2% to the root. With respect to the head of the EV1, using the profile method, a variation of 1 698.54 m<sup>3</sup> was calculated and, according to the pixel height variation method, 1 452.21 m<sup>3</sup>, with a higher incidence in the front and south of the spur head. The results showed a consistent structural behavior of the spurs, since the greatest variability coincides with the zone most exposed to the sea and currents agitation, namely in the front and north in the EV2 and in the front and south of the EV1.

The present methodology, in order to understand the variability of coastal morphology, whether natural or artificial, at low costs, besides its importance in supporting the design and management of coastal works, will allow the availability of very precise indicators on the volumes of accretion and erosion in extensive coastal stretches and in an expedited manner, whether they are cliffs or dune systems. The purpose of this study is to understand, for example, the effects in terms of variability of the coastal morphology for a particular storm, or whether the sediment policy is succeeding in a particular location or location, to support the modeling of a front urban environment at risk in the dissipation of water energy, or to calibrate models and help define more effective solutions in the medium and long term. Finally, the possibility of applying this technical methodology seems to be of such importance that it justifies that the entities responsible for coastal management evaluate their utility on multiple fronts and thus comply with the GTL Recommendation on the need for knowledge to better inform strategies adaptation.

**Keywords:** UAV, Visual Analysis, Quantitative Analysis, Coastal Defense System, Vulnerability, Surface Digital Model, Orthomosaics, 3D Processing, Groins, Monitoring.

# ÍNDICE DE MATÉRIAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA .....  | 2         |
| 1.2. OBJETIVO E ÂMBITO .....  | 4         |
| 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....   | 5         |
| <b>2. OS DESAFIOS DO LITORAL CONTINENTAL PORTUGUÊS.....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1. DINÂMICA E EVOLUÇÃO DA COSTA PORTUGUESA.....   | 8         |
| 2.1.1. <i>Evolução da linha de costa</i> .....  | 10        |
| 2.2. CÉLULAS SEDIMENTARES.....  | 12        |
| 2.3. A POPULAÇÃO E OS SEUS BENS.....  | 18        |
| 2.4. AÇÕES NATURAIS.....  | 20        |
| 2.4.1. <i>Marés</i> .....   | 20        |
| 2.4.2. <i>Subida do Nível Médio do Mar</i> .....  | 22        |
| 2.4.3. <i>Ventos</i> .....  | 25        |
| 2.4.4. <i>Agitação marítima</i> .....   | 26        |
| 2.5. AÇÕES ANTROPOGÉNICAS.....  | 27        |
| 2.5.1. <i>Aproveitamentos hidráulicos</i> .....   | 28        |
| 2.5.2. <i>Quebra-mares e canais de navegação</i> .....  | 29        |
| 2.5.3. <i>Obras de Proteção e defesa Costeira</i> .....   | 30        |
| 2.5.4. <i>Dragagens e extração de sedimentos</i> .....  | 32        |
| 2.5.5. <i>Ocupação costeira</i> .....   | 33        |
| 2.6. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS .....  | 34        |
| 2.7. O LITORAL NA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA.....  | 38        |
| 2.7.1. <i>Programa de Ordenamento da Orla Costeira</i> .....  | 39        |
| 2.7.2. <i>Estratégia Nacional de Gestão Integrada das Zonas Costeiras</i> .....   | 41        |
| 2.8. GESTÃO DO RISCO E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO COSTEIRA .....  | 42        |
| 2.8.1. <i>Tipos de intervenção de proteção das zonas costeiras</i> .....  | 44        |
| 2.8.2. <i>Intervenções nacionais / custos / investimentos</i> .....   | 51        |
| <b>3. OS DESAFIOS DOS LITORAIS BAIXOS E ARENOSOS: A DEFESA COSTEIRA ENTRE A COVA DO VAPOR E A COSTA DA CAPARICA .....</b>                             | <b>57</b> |
| 3.1. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA DA COVA DO VAPOR E NA CAPARICA E CONSEQUENTES INTERVENÇÕES DE DEFESA COSTEIRA.....                                    | 58        |
| 3.2. ESPORÃO EV1 E EV2 DA COVA DO VAPOR .....   | 63        |
| 3.2.1. <i>Esporão EV1 da Cova do Vapor</i> .....  | 63        |
| 3.2.2. <i>Esporão EV2 da Cova do Vapor</i> .....  | 65        |
| 3.3. OCORRÊNCIAS DE TEMPESTADES E AGITAÇÃO MARÍTIMA NA COSTA DA CAPARICA .....  | 67        |
| 3.3.1. <i>Inverno de 2006/2007 na praia de S.João</i> .....   | 67        |
| 3.3.2. <i>Sequências de tempestades no Inverno 2013/2014: A tempestade Hércules (oficialmente batizada por Christina), Brigid e a Stephanie</i> ..... | 69        |
| <b>4. O POTENCIAL DOS VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A MONITORIZAÇÃO DE OBRAS COSTEIRAS .....</b>  | <b>73</b> |
| 4.1. MONITORIZAÇÃO DE OBRAS COSTEIRAS COM RECURSO A VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS .....  | 74        |
| 4.1.1. <i>História dos Veículos Aéreos Não Tripulados</i> .....   | 74        |
| 4.1.2. <i>Classificação dos Veículos Aéreos Não Tripulados</i> .....  | 74        |
| 4.1.3. <i>Vantagens e Desvantagens dos Veículos Aéreos Não Tripulados</i> .....   | 76        |
| 4.1.4. <i>Legislação Europeia e Nacional</i> .....  | 77        |
| 4.2. OBTENÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COM RECURSO A VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS.....  | 80        |
| 4.2.1. <i>Fotogrametria e Processamento de dados geográficos obtidos por Veículos Aéreos Não Tripulados</i> .....                                     | 80        |
| 4.3. ESPECIFICAÇÕES DE LEVANTAMENTOS PARA A OBTENÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO .....   | 85        |
| 4.4. EXEMPLOS DE LEVANTAMENTOS EFETUADOS COM RECURSO A VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS .....   | 91        |
| 4.4.1. <i>Aplicações em arribas</i> .....   | 92        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.4.2.    | <i>Inspeções de barragens.....</i>  | 95         |
| 4.4.3.    | <i>Monitorização de Obras de Defesa Costeiras – Quebra-mares.....</i>   | 96         |
| <b>5.</b> | <b>METODOLOGIA PARA A MONITORIZAÇÃO DAS OBRAS DE DEFESA COSTEIRA ENTRE A COVA DO VAPOR E A COSTA DA CAPARICA .....</b>                            | <b>99</b>  |
| 5.1.      | METODOLOGIA GERAL.....  | 102        |
| 5.1.1.    | <i>Procedimentos antes da realização da missão .....</i>  | <i>102</i> |
| 5.1.2.    | <i>Procedimentos durante a missão .....</i>   | <i>105</i> |
| 5.1.3.    | <i>Procedimentos pós Missão.....</i>  | <i>108</i> |
| 5.2.      | METODOLOGIA ESPECÍFICA .....  | 121        |
| 5.2.1.    | <i>Esporão EV2 da Cova do Vapor .....</i>   | <i>122</i> |
| 5.2.2.    | <i>Esporão EV1 da Cova do Vapor .....</i>   | <i>124</i> |
| <b>6.</b> | <b>A MONITORIZAÇÃO DAS OBRAS DE DEFESA COSTEIRA ENTRE A COVA DO VAPOR E A COSTA DA CAPARICA COM RECURSO A VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS.....</b> | <b>127</b> |
| 6.1.      | ESPORÃO EV2 DA COVA DO VAPOR .....  | 127        |
| 6.1.1.    | <i>Análise Visual .....</i>   | <i>131</i> |
| 6.1.2.    | <i>Análise Quantitativa.....</i>  | <i>144</i> |
| 6.2.      | ESPORÃO EV1 DA COVA DO VAPOR .....  | 165        |
| 6.2.1.    | <i>Análise quantitativa .....</i>   | <i>165</i> |
| 6.3.      | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS FACE ÀS VARIAÇÕES ENTRE OS ESPORÕES DA COVA DO VAPOR .....   | 174        |
| 6.3.1.    | <i>Fatores que influenciam os resultados obtidos.....</i>   | <i>177</i> |
| 6.4.      | OUTROS RESULTADOS OBTIDOS COM A METODOLOGIA PROPOSTA NA PRESENTE DISSERTAÇÃO .....  | 183        |
| 6.4.1.    | <i>Modelo tridimensional obtido para as arribas da praia da Pedra do Ouro e Areia .....</i>   | <i>184</i> |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSÕES: AS POTENCIALIDADES DA METODOLOGIA E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>187</b> |
| 7.1.      | POTENCIALIDADE DA PRESENTE METODOLOGIA NA MONITORIZAÇÃO PERIÓDICA DA FAIXA COSTEIRA DE PORTUGAL CONTINENTAL .....                                 | 189        |
| 7.2.      | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 193        |
| <b>8.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>197</b> |
| <b>9.</b> | <b>ANEXOS .....</b>   | <b>205</b> |
|           | ANEXO A.....  | 207        |
|           | ANEXO B.....  | 209        |
|           | ANEXO C.....  | 215        |
|           | ANEXO D.....  | 223        |
|           | ANEXO E .....   | 225        |
|           | <i>Carregamento das Baterias .....</i>  | <i>225</i> |
|           | <i>Calibração do drone.....</i>   | <i>229</i> |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 - Fenómeno Cíclico entre os processos de artificialização e o ambiente do litoral ....   | 3  |
| Figura 2.1 - Os vários Limites Costeiros presente nas “Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional” .....   | 8  |
| Figura 2.2 - Esquema simplificado dos processos que condicionam o posicionamento e o traçar da linha de costa. ....   | 9  |
| Figura 2.3 - Representação esquemática de uma célula sedimentar e os processos que a caracterizam. ....   | 9  |
| Figura 2.4 - Possível hipótese da evolução da linha de costa de Portugal Continental desde o UMG. ....  | 10 |
| Figura 2.5 - Evolução da linha da costa portuguesa entre 1958 a 2010. ....  | 12 |
| Figura 2.6 - Divisão do litoral português em oito células sedimentares face as suas características geomorfológicas .....   | 13 |
| Figura 2.7 - Exemplos de áreas do litoral da célula 1: a) A norte de Viana do Castelo; b) Paramos Barrinha de Esmoriz; c) A norte de Pedrógão (Fonte: SIARL, 2012). ....                                    |    |
| Figura 2.8 - Exemplos de arribas presentes na célula 2: a) Nazaré; b) Nazaré; c) Alfeizerão.....  |    |
| Figura 2.9- Exemplos de praias encaixadas na célula 3: a) Silveira; b) Ericeira; c) São Pedro da Cadeira. ....  |    |
| Figura 2.10 - Exemplos de arribas e praias encaixadas na célula 4: a) Colares; b) Fonte da Telha; c) Cabo Espichel.....   |    |
| Figura 2.11- Exemplos de um litoral arenoso e contínuo: a) Tróia; b) Pinheiro da Cruz; c) Santiago do Cacém. ....   |    |
| Figura 2.12 - Exemplos de um litoral com dominância de arribas altas: a) São Teotónio; b) Vila Nova de Mil Fontes; c) Carrapateira  |    |
| Figura 2.13- Exemplos de arribas talhadas na célula 7: a) Lagos; b) Faro; c) Tavira . ....  |    |
| Figura 2.14- Exemplos das paisagens do litoral presente na célula 8: a) Albufeira; b) Cama da Cavaca; c) Alvor.....   |    |
| Figura 2.15 - Entradas de turistas nos aeroportos de Lisboa, de Faro e do Porto, entre 1966 e 2001. ....  | 19 |
| Figura 2.16 – Empreendimentos em zonas de elevado risco: a) Praia do Farol, Faro; b) Vale do Lobo, Loulé .....  |    |
| Figura 2.17- Caracterização de uma maré semidiurna típica. ....   | 20 |
| Figura 2.18- Efeito da maré na Costa da Caparica, Almada. a) Baixa-mar; b) Preia-mar.....   | 21 |
| Figura 2.19- Variabilidade do NMM nos últimos 40 000 anos .....   | 22 |
| Figura 2.20 - Projeções e observações obtidas desde 1990 presentes nos relatórios do IPCC (AR1, AR2, AR3, AR4).....   | 23 |
| Figura 2.21 - Diferentes taxas de variação do NMM, observadas por marégrafos, em diferentes localizações entre 1993-2012.....   | 24 |
| Figura 2.22 – Subida do NMM desde 2005 a 2100 segundo diferentes projeções.....   | 24 |
| Figura 2.23 - Medições do NMM obtidas através do marégrafo de Cascais entre os anos de 1880 a 2013 .....  | 25 |
| Figura 2.24- Processo de interação da atmosfera sobre a superfície do oceano .....  | 26 |
| Figura 2.25- Áreas hidrográficas drenantes para o litoral português afetadas e não afetadas por barragens.....  | 29 |
| Figura 2.26 – Obra longitudinal e esporões na Praia de Esmoriz .....  | 30 |
| Figura 2.27- Efeitos de uma construção à beira-mar sobre a conservação da praia .....   | 31 |
| Figura 2.28- Comportamento da linha de costa face a uma situação de tempestade de inverno com <i>storm surge</i> com a presença de um esporão transversal.....  | 32 |
| Figura 2.29- Densidade Populacional de Portugal.....  | 33 |
| Figura 2.30- Emissões de dióxido de carbono entre os anos de 1850 e 2000.....   | 35 |
| Figura 2.31 – Variações na taxa de crescimento das emissões de gases de efeito de estufa entre 190 a 2010.....  | 36 |
| Figura 2.32 – Taxa crescente da temperatura média global da superfície terrestre e da superfície dos oceanos .....  | 36 |
| Figura 2.33- Gráfico da esquerda: área ocupada por gelo marinho (glaciares, calotas polares, etc.) (entre 1900 a 2000); Gráfico da direita: Alteração global do nível médio do mar desde 1900 até 2010..... | 37 |
| Figura 2.34 – POC em vigor em Portugal Continental.....   | 40 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.35- As componentes das estratégias de adaptação: proteção, acomodação e realocização (Fonte: a): New Jersey Association for Floodplain Management (New Jersey Future); b): Emily Underwood / San Francisco Public Press)..... | 43 |
| Figura 2.36- Esquema das estruturas paralelas à costa.....   | 45 |
| Figura 2.37 – Obras longitudinais aderentes, exemplo da Costa da Caparica e da Cova do Vapor.....  | 46 |
| Figura 2.38- Perfil das obras longitudinais aderentes.....   | 46 |
| Figura 2.39- Formação de tómbolo devido à colocação de um quebra-mar destacado e o comportamento erosivo do mar face a um conjunto de quebra-mares.....  | 47 |
| Figura 2.40- Quebra-mar de talude, parede vertical e misto .....   | 47 |
| Figura 2.41- Quebra-mar do porto de Ferrol. ....   | 48 |
| Figura 2.42- Esquema de estruturas perpendiculares à costa .....   | 48 |
| Figura 2.43 – Representação do perfil tipo de um esporão, com a composição das suas diferentes secções, segundo técnicos da APA. ....  | 49 |
| Figura 2.44- Comportamento de um esporão isolado e de um campo de esporões.....  | 49 |
| Figura 2.45 - Comportamentos de enchimento e erosão face a diferentes formas de esporões .....   | 50 |
| Figura 2.46- a) Esporão EC1 da Caparica associado a uma obra aderente; b) Campo de esporões da Caparica.....   | 50 |
| Figura 2.47- Investimentos realizados nas infraestruturas de defesa costeira entre 1995-2014 por POOC. ....  | 51 |
| Figura 2.48 – Investimentos realizados nas infraestruturas de defesa costeira entre 1995-2014 por concelho. ....   | 52 |
| Figura 2.49- Investimentos por tipologia de obra costeira entre 1995-2014.....   | 52 |
| Figura 2.50 – Sobreposição dos custos das obras costeiras entre 1995-2014 com a evolução da linha de costa entre 1958-2010 e da tipologia das obras costeiras face aos seus custos para o mesmo intervalo .....                        | 53 |
| Figura 2.51- Investimentos anuais realizados em intervenções de defesa costeira .....  | 54 |
| Figura 2.52- Investimentos anuais entre os anos de 1995-2014 face aos acontecimentos de temporais registados com ondas superiores a 7 metros de altura .....   | 55 |
| Figura 2.53- Esporão Norte de Espinho, fotografias obtidas com <i>drone</i> da APA no dia 12 de Julho de 2017. ....  | 55 |
| Figura 3.1- a) Mapa da taxa de recuo da linha de costa nos últimos 50 anos; b) mapa dos usos do solo na Cova do Vapor e da Costa da Caparica .....   | 57 |
| Figura 3.2 – Comportamento da linha de costa da Cova do Vapor e Caparica entre 1870 a 2001 .....   | 59 |
| Figura 3.3 - Evolução de perfis transversais de praia entre 1957 e 1964 .....  | 60 |
| Figura 3.4- Obras de proteção na Costa da Caparica e Cova do Vapor .....   | 60 |
| Figura 3.5- Investimentos realizados por ano no concelho de Almada entre 2003 e 2014 .....   | 62 |
| Figura 3.6 – a) Obra aderente OA3; b) Esporão EV3; c) Esporão EV2; d) Esporão EV1 da Cova do Vapor (Fonte: Fotografias Obtidas a Agosto de 2017).....  | 62 |
| Figura 3.7 – Variabilidade estrutural do esporão EV1 da Cova do Vapor entre os anos de 2001 e 2016. ....   | 63 |
| Figura 3.8 – Composição dos enrocamentos/blocos utilizados no Esporão EV1 da Cova do Vapor.....  | 64 |
| Figura 3.9 - Variabilidade estrutural do esporão EV1 da Cova do Vapor entre os anos de 2001 e 2016 .....   | 65 |
| Figura 3.10 - Composição dos enrocamentos/blocos fornecidos ao Esporão EV1 da Cova do Vapor. ....  | 66 |
| Figura 3.11- Agitação marítima registada pelo ondógrafo de Sines entre 3 de Outubro de 2006 a 3 de Outubro de 2007.....  | 68 |
| Figura 3.12- Areal da Costa da Caparica após a tempestade no inverno de 2006/2007 .....  | 68 |
| Figura 3.13- Situação na zona do parque de campismo: a) Situação da praia de S. João a Julho de 2006; b) Após a reparação da obra aderente e alimentação artificial – Fotografia de Setembro de 2007 .....                             | 69 |
| Figura 3.14- Medidor de maré gravações durante a tempestade de Hércules: a) Cascais; b) Lagos; c) e d) <i>zoom</i> de dados de Cascais: Para a segunda maré alta de 6 de Janeiro (c) e a primeira maré alta de 7 de Janeiro (d). ....  | 70 |
| Figura 3.15- Situações de erosão, galgamentos e inundações provocados pela tempestade Hércules.....  | 71 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.1– A relação entre flexibilidade e Atualização face à cobertura de diferentes VANT ..  | 74  |
| Figura 4.2– a) Levantamento cadastral das jangadas na Lagoa de Albufeira; b) Levantamento de dados topográficos na Arriba de S.Pedro Moel.....  | 81  |
| Figura 4.3– Exemplo de um ortomosaico. ....   | 82  |
| Figura 4.4– Modelo Digital de Terreno em formato 3D: a) Nuvem de pontos de um MDT; b) Curvas de nível. ....   | 83  |
| Figura 4.5– Componentes do Sistema LIDAR .....  | 85  |
| Figura 4.6 – Representação esquemática dos conceitos de <i>Overlap</i> e <i>Sidelap</i> .....   | 86  |
| Figura 4.7– Fotografia vertical e fotografias oblíquas .....  | 86  |
| Figura 4.8– Plano ideal para a aquisição de imagens para o processamento de modelos digitais .....  | 87  |
| Figura 4.9– Plano ideal de aquisição de imagens para a modelação de edifícios .....   | 88  |
| Figura 4.10– <i>Overlap</i> e <i>sidelap</i> entre diferentes planos de voo .....   | 89  |
| Figura 4.11- Plano de aquisição de imagens em dupla grelha .....  | 89  |
| Figura 4.12– Exemplo de marca no chão, para apoiar processamento do modelo .....  | 90  |
| Figura 4.13 – Colocação de GCP estrategicamente espaçados entre si na área de interesse .   | 90  |
| Figura 4.14– Distribuição de um mínimo de 4 GCP na área de interesse, um GCP em cada canto do mapa e um no centro .....   | 91  |
| Figura 4.15– Área de Estudo, na qual serviu de caso de estudo para a formulação de um modelo para a documentação de diferentes níveis de erosão em arribas.....   | 92  |
| Figura 4.16 -Análise das acreções e erosões nas nuvens de pontos entre os anos de 2002 e 2010 na arriba <i>Fort Funston</i> .....   | 93  |
| Figura 4.17 – Perfis de alterações topográfica de duas secções distintas na arriba <i>Fort Funston</i> entre 2002 a 2010. ....  | 94  |
| Figura 4.18– As fissuras analisadas no caso de estudo na barragem da Bouça .....  | 95  |
| Figura 4.19 - Ortomosaicos dos quebra-mares de Portimão Poente e Nascente .....   | 96  |
| Figura 4.20– Perfis transversais dos quebra-mares da Foz do rio Arade .....   | 97  |
| Figura 5.1 – Hexacóptero com câmara <i>GoPro</i> da APA. I.P. que esteve na base dos dados recolhidos e utilizados na presente dissertação. ....  | 99  |
| Figura 5.2 – a) Seleção da opção <i>Draw Polygon</i> ; b) Desenho de um polígono em torno da área de interesse. ....  | 102 |
| Figura 5.3 – Características Simples de Voo, Características da Sobreposição das Fotografias e Características da Câmara Fotográfica. ....  | 103 |
| Figura 5.4 – Informações do planeamento de voo segundo as características do <i>drone</i> , da câmara fotográfica, da área de interesse, da sobreposição entre fotografias entre outras informações. ....                                 | 103 |
| Figura 5.5 – Informações dos Waypoints realizados no planeamento de voo e a distância a ser percorrida durante o voo.....   | 104 |
| Figura 5.6 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo. ....   | 105 |
| Figura 5.7 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo. ....   | 106 |
| Figura 5.8 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo. ....   | 106 |
| Figura 5.9 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo. ....   | 107 |
| Figura 5.10 – Controlos do comando do <i>drone</i> (estação de comando).....  | 108 |
| Figura 5.11 – Seleção da opção <i>Download DataFlash Log</i> Via <i>Mavlink</i> para a extração dos dados da missão realizada. ....   | 109 |
| Figura 5.12– Seleção dos Logs de voo a serem transferidos para o computador. ....   | 109 |
| Figura 5.13 – Exemplo de uma missão incompleta, realizada pelo <i>drone</i> na Praia da Pedra do Ouro. ....   | 110 |
| Figura 5.14– Altitude absoluta do voo realizado pelo <i>drone</i> na Cova do Vapor.....   | 111 |
| Figura 5.15 – Etapas 1, 2 e 3, referentes à alteração do EXIF das fotografias áreas da missão. ....   | 112 |
| Figura 5.16 – Alteração do EXIF das fotografias para o tempo universal coordenado. ....   | 113 |
| Figura 5.17– Associação das coordenadas dos <i>waypoints</i> ao EXIF das imagens com o mesmo tempo universal coordenado. ....   | 113 |
| Figura 5.18– Fotografia já georreferenciada com alguns dados que constam do seu EXIF em S. Pedro Moel (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Junho de 2017)....  | 114 |
| Figura 5.19– Exemplos de pontos a utilizar como <i>Ground Control Points</i> : a), esporão EV2 da Cova do Vapor; b) Base do poste de eletricidade em Água de Medeiros (Fonte: Fotografias obtida com o VANT da APA a Junho de 2017). .... | 114 |
| Figura 5.20 – Etapas 1 a 3 ilustradas, utilizando o <i>software Pix4D</i> .....   | 115 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 5.21– Geolocalização das fotografias capturadas durante a realização da missão. ....   | 115 |
| Figura 5.22– Pedra que serviu de referência no esporão EV2 da Cova do Vapor como <i>Ground Control Point</i> (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Julho de 2017)..   | 116 |
| Figura 5.23– Ilustração do processo de obtenção de coordenadas (latitude, longitude e altitude) de uma determinada estrutura fixa que posteriormente será utilizada como GCP. ....  | 117 |
| Figura 5.24 – Representação da nuvem de pontos obtidos através do processamento inicial do modelo, sem utilização de GCP. ....  | 117 |
| Figura 5.25 – Importação dos GCP para o processamento do modelo tridimensional a realizar. ....   | 118 |
| Figura 5.26 – Exemplo de marcação dum GCP em várias fotografias obtidas durante a realização da missão. Neste caso, o mesmo GCP foi marcado em sete fotografias distintas. ....   | 118 |
| Figura 5.27 – a) Reotimização do modelo tridimensional após a colocação e marcação dos GCP; b) Nuvem de pontos com os GCP marcados. ....  | 119 |
| Figura 5.28 – Diferença do valor de pixéis entre Modelos Digitais de Terreno (Adaptado de ESRI, 2017). ....   | 121 |
| Figura 5.29– Plano da primeira missão realizada ao Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma altura de 15 m. ....  | 122 |
| Figura 5.30– Dados de Overlap e Sidelap do primeiro voo realizado ao Esporão EV2 da Cova do Vapor. ....   | 123 |
| Figura 5.31– Introdução dos GCP no <i>Initial Processing</i> do <i>software Pix4D</i> , processo realizado para o apoio à georreferenciação do modelo do Esporão EV2 da Cova do Vapor. ....   | 124 |
| Figura 5.32 - Plano da primeira missão realizada ao Esporão EV1 da Cova do Vapor a uma altura de 15m. ....  | 125 |
| Figura 5.33–Representação geográfica dos GCP na nuvem de pontos obtida através do Initial Processing do Esporão EV1 da Cova do Vapor. ....  | 125 |
| Figura 6.1– Informações de voo retiradas dos <i>logs</i> do <i>drone</i> : (a) A imagem de cima representa a velocidade de voo do <i>drone</i> ; (b) A imagem de baixo representa o trajeto realizado pelo <i>drone</i> (ficheiro KMZ, utilização do <i>software Google Earth</i> ). .... | 128 |
| Figura 6.2 – Exemplos das fotografias áreas oblíquas resultantes do levantamento realizado pelo <i>drone</i> ao Esporão da Cova do Vapor (Imagens da esquerda a 15 m de altura e da direita a 30 m) (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Junho de 2017). ....                    | 128 |
| Figura 6.3 – Posicionamento dos 528 levantamentos fotogramétricos, nos quais a câmara fotográfica encontra-se a um ângulo nadir (vertical). A azul é o posicionamento da câmara aquando do momento da captura da imagem e a verde o ângulo desta. ....                                    | 129 |
| Figura 6.4 – Posicionamento 2D (vista YZ) dos levantamentos fotogramétricos e dos GCP (a verde são as imagens calibradas, a vermelho o levantamento fotogramétrico não calibrado e as cruze em baixo são o posicionamento dos GCP). ....  | 129 |
| Figura 6.5 – Avaliação do Overlap obtido do levantamento realizado ao esporão EV2 da Cova do Vapor, no qual a área a vermelho não apresenta <i>matched keypoints</i> para uma correta modelação e a verde apresenta pontos suficientes para uma modelação pormenorizada. ....             | 129 |
| Figura 6.6– Ortomosaico obtido da missão realizada pelo <i>drone</i> ao Esporão EV2 da Cova do Vapor. ....  | 130 |
| Figura 6.7 – Modelo Digital de Terreno obtido da missão realizada pelo <i>drone</i> ao Esporão EV2 da Cova do Vapor. ....   | 130 |
| Figura 6.8 – Perspetiva Cavaleira (Vista da direita) da cabeça do Esporão EV2 visualizada no <i>software Pix4D</i> , modelo obtido através da missão realizada pelo <i>drone</i> (Escala 1:120, aproximadamente). ....  | 130 |
| Figura 6.9 – Perspetiva Cavaleira (Vista da esquerda) do Esporão EV2 visualizada no <i>software Pix4D</i> , modelo obtido através da missão realizada pelo <i>drone</i> . ....  | 131 |
| Figura 6.10 – Perspetiva Axonométrica Trimétrica do Esporão EV2 visualizada no <i>software Pix4D</i> , modelo obtido através da missão realizada pelo <i>drone</i> . ....   | 131 |
| Figura 6.11– Justaposição das ortofotografias (2008, 2014-2015 e 2017, respetivamente) do Esporão EV2 da Cova do Vapor (Escala de 1:1500). ....   | 132 |
| Figura 6.12 – Alteração estrutural de alguns blocos a título de exemplo entre as Ortofotografias de 2014-2015 e 2017. ....  | 133 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.13 – Análise do corpo e enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor entre a Ortofotografia de 2014-2015 (imagem de cima) e a Ortofotografia de 2017 (imagem de baixo). As Ortofotografias estão a uma escala de 1:1 250. ....   | 134 |
| Figura 6.14 - Ortofotografia de 2008 e Ortofotografia de 2017 a uma escala de 1:150. ....   | 135 |
| Figura 6.15 – Análise do corpo do esporão EV2 da Cova do Vapor entre a Ortofotografia de 2008 (imagem de cima) e a Ortofotografia de 2017 (imagem de baixo). ....   | 136 |
| Figura 6.16 – Imagem da diferença entre a Ortofotografia obtida pelos levantamentos realizados pelo <i>drone</i> em 2017 e a Ortofotografia de 2014-2015 obtida por levantamentos convencionais. Esta imagem encontra-se dividida em dois sectores, nomeadamente a cabeça do esporão e o corpo e enraizamento deste. Imagem à escala 1: 1 500. .... | 137 |
| Figura 6.17– Análise da diferença (c) das Ortos 2017 (a) e 2014-2015 (b) para a cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor dividido em quatro quadrantes, a vermelho na imagem da diferença corresponde à linha de água (Escala 1:300). ....  | 137 |
| Figura 6.18 – Imagem da diferença entre a ortofotografia de 2014-2015 e 2017 para o corpo e o enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor a uma escala de 1: 1500. ....  | 138 |
| Figura 6.19- Imagem da diferença entre a Ortofotografia obtida pelos levantamentos realizados pelo <i>drone</i> em 2017 e a Ortofotografia de 2008 obtida por levantamentos convencionais. Esta imagem encontra-se dividida em dois sectores, nomeadamente a cabeça do esporão e o corpo e enraizamento deste. Imagem à escala 1: 1 500. ....       | 139 |
| Figura 6.20– Análise da diferença (c) das Ortos 2017 (a) e 2014-2015 (b) para a cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor dividido em quatro quadrantes, a vermelho na imagem da diferença corresponde à linha de água (Escala 1:300). ....  | 139 |
| Figura 6.21– Imagem da diferença entre a ortofotografia de 2008 e 2017 para o corpo e o enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor a uma escala de 1: 1000. ....  | 140 |
| Figura 6.22 – Justaposição entre a Ortofotografia obtida pelo <i>drone</i> em 2017, a ortofotografia de 2014-2015 e a imagem da diferença entre ambas as ortofotografias. ....  | 141 |
| Figura 6.23– Porções utilizadas da cabeça e do prolongamento utilizadas para a análise de faces visíveis de diferentes Ortofotografias do Esporão EV2 da Cova do Vapor. Imagem à escala 1:250. ....   | 141 |
| Figura 6.24 – Imagens extraídas das Ortofotografias de 2008, 2014-2015 e 2017 da secção de estudo da Cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma Escala 1:125 e com grelhas de apoio à análise. A linha a preto representa o coroamento do esporão. ....   | 142 |
| Figura 6.25 – As Ortofotografias de 2008, 2014-2015 e 2017 da secção de estudo do Corpo da face norte do Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma Escala 1:125 e com grelhas. A linha a preto representa o coroamento do esporão. ....  | 143 |
| Figura 6.26 – As Ortofotografias de 2008, 2014-2015 e 2017 da secção de estudo do Corpo a face sul do Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma Escala 1:125. ....   | 144 |
| Figura 6.27 – a) Modelo digital de terreno obtido pelo LiDAR 2011 obtido com uma câmara LiDAR; b) Modelo digital de terreno obtido com levantamento obtido pelo <i>drone</i> em 2017. Ambos os modelos encontram-se a uma escala de 1: 2 000. ....  | 145 |
| Figura 6.28 – Perfis transversais realizados ao Esporão EV2 da Cova do Vapor. A ortofotografia utilizada para a demonstração do posicionamento dos perfis é a ortofotografia de 2008 a uma escala de 1:2 000. ....  | 145 |
| Figura 6.29– Perfis das oito secções transversais do esporão EV2, desde a sua cabeça até ao seu enraizamento. ....  | 147 |
| Figura 6.30– Perfis das oito secções transversais do esporão EV2, desde a sua cabeça até ao seu enraizamento, no qual a amarelo corresponde a perdas e a verde os deslizamentos dos enrocamentos ....   | 149 |
| Figura 6.31- Representação dos perfis realizados por cada secção do esporão EV2 da Cova do Vapor, com as respetivas perdas e deslizamentos dos enrocamentos ....  | 150 |
| Figura 6.32 – Variação quantificada dos enrocamentos nos oito perfis realizados entre 2011 e 2017 ....  | 151 |
| Figura 6.33 – Representação dos oito troços utilizados para o cálculo da variação ocorrida no esporão EV2 da Cova do Vapor entre 2011 e 2017. ....  | 152 |
| Figura 6.34 – a) Variação dos enrocamentos por face (norte e sul); b) Variação dos enrocamentos por tipo de alteração. ....   | 153 |
| Figura 6.35 – Representação da variação dos enrocamentos por comprimento de cada troço ....   | 154 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.36 - Esporão EV2 com a representação da diferença de altura entre o MDT obtido pelo LiDAR de 2011 e o MDT obtido pelo <i>drone</i> em 2017. A azul representa deslizamentos, a vermelho perdas de materiais e a amarelo sem alteração. Nas imediações deste, a azul representa acreção e a vermelho erosão dos sedimentos. Figura à escala 1:1 500..... | 155 |
| Figura 6.37 – Divisão do esporão EV2 em três diferentes secções (cabeça, prolongamento, e enraizamento) de forma a facilitar a análise dos resultados. Imagem a uma escala de 1: 1 250. ....   | 155 |
| Figura 6.38 – Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos na cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor. A azul representa os deslizamentos, a vermelho perdas e/ou assentamentos e a amarelo sem alteração Imagem a uma escala de 1:400. ....   | 156 |
| Figura 6.39 - Variabilidade estrutural da cabeça do esporão EV2 da Cova do Vapor por subsecções entre o MDT de 2011 e 2017.....  | 157 |
| Figura 6.40 – Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos no prolongamento do Esporão EV2 da Cova do Vapor. A azul representa os locais de depósito dos deslizamentos, a vermelho perdas e/ou assentamentos e a amarelo sem alteração. Ortofotografia de 2014-2015.....  | 158 |
| Figura 6.41- Variabilidade volumétrica do corpo do esporão EV2 da Cova do Vapor por subsecções entre o MDT de 2011 e 2017.....   | 159 |
| Figura 6.43 – Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos no enraizamento do Esporão EV2 da Cova do Vapor. Imagem a uma escala de 1:400. ....  | 160 |
| Figura 6.44 – a) Variação Volumétrica do esporão EV2 por secção entre 2011 e 2017; b) Gráfico da direita: Percentagem da área por secção do esporão. ....  | 161 |
| Figura 6.45 – Variabilidade estrutural do esporão EV2 da Cova do Vapor por subsecção. A vermelho representa a cabeça, a azul o prolongamento e a verde o enraizamento do esporão. ....   | 162 |
| Figura 6.46 – Quantificação volumétrica de quatro objetos diferentes utilizando a nova funcionalidade do <i>software Pix4D</i> .....   | 163 |
| Figura 6.47 – Medições manuais (com recurso a fita métrica) dos blocos C e D para posterior cálculo manual do seu volume. ....   | 164 |
| Figura 6.48 – Ortofotos do Esporão EV1 da Cova do Vapor, na qual a imagem da esquerda é a ortofotografia de 2008 e a imagem da direita é a ortofotografia de 2017. Ambas as imagens estão a uma escala de 1:300. ....  | 165 |
| Figura 6.49 – Perfis transversais utilizados para a análise quantitativa da cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor. Escala 1:500. ....   | 166 |
| Figura 6.50 - Perfis das quatro secções utilizadas para quantificar a variação na cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor, no qual a amarelo corresponde a perdas e a verde os deslizamentos/escorregamentos de enrocamentos. ....  | 167 |
| Figura 6.51— Representação dos perfis realizados por cada secção do esporão EV2 da Cova do Vapor, com as respetivas perdas e deslizamentos dos enrocamentos .....  | 168 |
| Figura 6.52 - Variação dos enrocamentos nos perfis realizados entre 2011 e 2017 para a cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor. ....  | 169 |
| Figura 6.53 – Representação dos troços utilizados para o cálculo volumétrico das variações da cabeça do esporão EV1 .....  | 169 |
| Figura 6.54 - a) Variação dos enrocamentos por face (norte e sul); b) Variação dos enrocamentos por tipo de alteração estrutural .....   | 171 |
| Figura 6.55 -Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos na cabeça do Esporão EV1 da Cova do Vapor. A azul representa os deslizamentos, a vermelho perdas e/ou assentamentos e a amarelo sem alteração Imagem a uma escala de 1:400. ....  | 172 |
| Figura 6.56 - Variabilidade estrutural da cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor por subsecções entre o MDT de 2011 e 2017.....  | 173 |
| Figura 6.57 – a) Suportes dos <i>drones</i> capturados nos levantamentos fotogramétricos verticais (fotografia do quebra-mar destacado na Foz do Douro) (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Junho de 2017); b) Suportes do drone evidenciados no ortomosaico obtido para o esporão EV2 da Cova do Vapor. ....  | 178 |
| Figura 6.58 – a) Fotografia obtida com recurso ao VANT da APA em Julho de 2017 na arribas de S. Pedro Moel; b) Utilização do <i>software Adobe Lightroom</i> de forma a exemplificar a perda de qualidade de imagens após a correção da distorção das lentes. ....   | 179 |
| Figura 6.59 – Diferença entre levantamentos fotogramétricos obtidos a altitudes diferentes (imagem da esquerda a 80 metros e a imagem da direita a 15 metros).....   | 180 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.60 – Elevada agitação marítima no esporão da Cova Gala, a qual impossibilita a obtenção de pontos comuns entre diferentes fotografias.....          | 181 |
| Figura 6.61 – Influência da agitação marítima na sobreposição 2D entre ortofotografias do Esporão EV2 da Cova do Vapor.....                                  | 181 |
| Figura 6.62 – Influência da nebulosidade na qualidade dos levantamentos fotogramétricos. Levantamentos realizados na Arriba da Pedra do Ouro .....           | 182 |
| Figura 6.63 – Efeito da maré em Cortegaça, com imersão da praia e de alguns blocos da obra aderente.....   | 182 |
| Figura 6.64 - Discrepância entre o MDT obtido pelo LiDAR 2011 e o MDT obtido pelo <i>drone</i> em 2017. ....   | 183 |
| Figura 6.65 – Modelo obtido para a arriba da praia da Pedra do Ouro, através do <i>software</i> de processamento <i>Pix4D</i> .....                          | 184 |
| Figura 6.66 – a) Ortomosaico; b) modelo digital de terreno para a arriba da praia da Pedra do Ouro. ....   | 185 |
| Figura 6.67 - Modelo obtido para a obra aderente e arriba da praia da Areia Branca, através do <i>software</i> de processamento <i>Pix4D</i> . ....          | 185 |
| Figura 6.68 – a) Ortomosaico; b) modelo digital de terreno obtidos para a obra aderente e arriba da praia da Areia Branca.....                               | 186 |
| Figura 7.1- Utilização de um drone com a incorporação de um sistema RTK-GNSS .....   | 187 |
| Figura 7.2 - a) <i>Drone</i> Matrice 600 pro com sistema D-RTK GNSS; b) Estação base GNSS... ..  | 188 |
| Figura 7.3 - Conjunto <i>Zenmuse X5 Gimbal</i> com câmara incluída .....   | 188 |
| Figura 7.4 – Câmara LiDAR da empresa Routsence para <i>drone</i> . ....  | 189 |
| Figura 7.5 - Ferramenta de monitorização de sistemas proposta através de levantamentos obtidos com recurso a <i>drone</i> .....                              | 190 |
| Figura 7.6 – Proposta de serviços topobatimétricos no litoral português (Fonte: António Mota Lopes) .....  | 191 |
| Figura 9.1 – Relatos da comunicação social face a obras de emergência e de reparação na Caparica.....  | 207 |
| Figura 13.2 – Área de responsabilidade marítima de cada Porto em Portugal continental .....  | 221 |
| Figura 9.3 – Transformador utilizado para o carregamento das várias baterias utilizadas. ....  | 225 |
| Figura 9.4 – Bateria Multistar High Capacity de 6600 mAh utilizada para o funcionamento do <i>drone</i> (Multistar, 2017).....                               | 225 |
| Figura 9.5–Procedimentos para o carregamento das baterias do <i>drone</i> . ....   | 226 |
| Figura 9.6 – Procedimento do carregamento das baterias do <i>drone</i> .....   | 227 |
| Figura 9.7– Bateria do comando do <i>drone</i> (estação de controlo).....  | 227 |
| Figura 9.8 – Carregamento da bateria do comando do <i>drone</i> (estação de controlo).....   | 228 |
| Figura 9.9 – Bateria Fat Shark dos óculos Fat Shark utilizada a visualização dos levantamentos fotográficos enquanto o voo realizado pelo <i>drone</i> ..... | 228 |
| Figura 9.10 – Carregamento da bateria dos óculos FPV Fat Shark. ....   | 229 |
| Figura 9.11 – Procedimentos de calibração dos sensores do <i>drone</i> .....   | 230 |



## NDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 – Legislação fundamental considerada para a elaboração da presente dissertação..   | 38  |
| Tabela 2 – Medidas leves e pesadas de adaptação costeira (Adaptado GTL (2014), EEA (2013), Silva (2014), Gortnitz (2013), Nicholls (2011), Linham <i>et al.</i> , (2010) e French (2001). ..... | 43  |
| Tabela 3 – Variação das subclasses do uso do solo entre 1958 e 2014 em km <sup>2</sup> (Fonte: Ferreira, 2016) .....  | 58  |
| Tabela 4 – Comprimento e variação do Esporão Ev1 da Cova do Vapor entre 2001 a 2016....   | 64  |
| Tabela 5 - Comprimento e variação do Esporão Ev1 da Cova do Vapor entre 2001 a 2016 ....  | 65  |
| Tabela 6 – Classificação Europeia dos UAV (EASA, 2015) .....  | 75  |
| Tabela 7 – Classificação dos VANT segundo o seu tipo de sustentação (Fonte: Demolinari, 2016) .....   | 76  |
| Tabela 8 – Dados sobre o caso de estudo realizado na barragem do Bouça (Fonte: Henriques & Roque, 2015).....  | 95  |
| Tabela 9 – Scripts utilizados para o cálculo da variação estrutural emersa dos esporões .....   | 121 |
| Tabela 10 – Coordenadas dos GCP utilizados na modelação 3D do Esporão Norte da Cova do Vapor.....   | 123 |
| Tabela 11 – Coordenadas dos GCP utilizados na modelação 3D do Esporão Norte da Cova do Vapor.....   | 125 |
| Tabela 12 – Características dos perfis analisados no Esporão EV2 da Cova do Vapor .....   | 145 |
| Tabela 13 - Alterações quantificadas nos perfis transversais realizados para o esporão EV2 da Cova do Vapor .....   | 149 |
| Tabela 14 – Cálculo da variação dos enrocamentos por troço no esporão EV2 da Cova do Vapor. ....  | 152 |
| Tabela 15 – Características das secções em estudo do esporão EV2 da Cova do Vapor .....   | 155 |
| Tabela 16 – Variações volumétrico (ou espacial) da cabeça do esporão EV2 da Cova do Vapor face a diferentes subsecções .....  | 157 |
| Tabela 17 - Variações estruturais do corpo do esporão EV2 da Cova do Vapor a norte e a sul .....  | 158 |
| Tabela 18 - Variações estruturais do enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor face a diferentes subsecções .....  | 160 |
| Tabela 19 – Variabilidade estrutural do esporão EV2 da Cova do Vapor .....  | 161 |
| Tabela 20 – Características quantitativas de cada objeto processado no MDT do esporão EV2 da Cova do Vapor .....  | 163 |
| Tabela 21 – Características dos perfis utilizados na cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor .....   | 166 |
| Tabela 22 – Alterações quantificadas nos perfis transversais realizados para a cabeça esporão EV1 da Cova do Vapor .....  | 167 |
| Tabela 23 - Cálculo da variação dos enrocamentos por troço na cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor .....  | 170 |
| Tabela 24 - Variações estruturais do cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor face a diferentes subsecções .....  | 172 |
| Tabela 25 – Esquematização dos resultados obtidos para os esporões através das metodologias quantitativas utilizadas .....  | 175 |
| Tabela 26 – Preços relativamente à proposta dos serviços topobatimétricos.....  | 192 |
| Tabela 27 – Intervenções de gestão do risco costeiro realizadas no concelho de Almada entre 2003 e 2014 (Fonte: Ferreira, 2016).....  | 209 |
| Tabela 28 – Zonas de elevado Risco Costeiro (Grau I) em Portugal continental.....   | 213 |





## LISTA DE ABREVIATURAS

|            |  |
|------------|--|
| 2D         | Duas Dimensões   |
| 3D         | Três Dimensões   |
| AAN        | Autoridade Aeronáutica Nacional                            |
| APA        | Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.                       |
| ENGIZC     | Estratégia Nacional da Gestão Integrada de Zonas Costeiras |
| EXIF       | <i>Exchangeable Image File Format</i>                      |
| GCP        | <i>Ground Control Points</i>                               |
| GIZC       | Gestão Integrada de Zonas Costeiras                        |
| GNSS       | <i>Global Navigation Satellite System</i>                  |
| GPS        | <i>Global Positioning System</i>                           |
| GPX        | <i>GPS Exchange Format</i>                                 |
| GTL        | Grupo de Trabalho do Litoral                               |
| KMZ        | <i>Keyhole Markup language Zipped</i>                      |
| LiDAR      | <i>Light Detection and Ranging</i>                         |
| MDT        | Modelo Digital de Terreno                                  |
| NMM        | Nível Médio do Mar   |
| POC        | Programa de Ordenamento Costeiro                           |
| POOC       | Plano de Ordenamento da Orla Costeira                      |
| RGB        | <i>Red\Green\Blue</i>                                      |
| <i>RTK</i> | <i>Real Time Kinectic</i>                                  |
| PPK        | <i>Post-processed Kinematic</i>                            |
| SIARL      | Sistema de Administração do Recurso Litoral                |
| SIG        | Sistema de Informação Geográfico                           |
| UMG        | Último Máximo Glaciar                                      |
| VANT       | Veículo Aéreo Não Tripulado                                |



# 1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação incide sobre a monitorização de precisão de estruturas costeiras emersas enquanto componente essencial para a gestão sustentável de intervenções de defesa costeira e que, como é sabido, são obras caras e sujeitas a grande desgaste face à abrasividade do mar. As obras de defesa costeira, pesadas ou leves, são assim instrumentos indissociáveis para a segurança de pessoas e bens, razão porque monitorização precisa e periódica dos sistemas costeiros são fatores centrais para que a gestão integrada e sustentável, preconizado em diversos documentos estratégicos sobre a orla costeira, possa ser atingido na sua plenitude.

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), associado a um sensor ótico, constitui uma poderosa ferramenta de apoio à monitorização costeira, apresentando vantagens em muitos e vastos domínios se comparado com outras metodologias, uma vez que permite rapidez na sua obtenção, fiabilidade e precisão dos dados a preços bastante competitivos e com interesse de aplicação em muitos outros domínios para além da monitorização de obras.

A análise de diferentes Modelos Digitais de Terreno (MDT) de uma obra de defesa costeira, obtidos com esta metodologia, permite avaliar de forma expedita e com grande precisão as variabilidades temporais a que a obra está sujeita e com interesse em múltiplas vertentes de que se destacam: A informação para o projetista quanto ao comportamento estrutural da obra e assim poder avaliar desvios previsíveis ou não conforme foi planeada; Quantificação expedita quer em volumes de materiais quer da estabilidade da obra de forma a melhor se planear o momento mais oportuno para se proceder à sua manutenção; Permitir fáceis correlações entre o comportamento da obra e os fatores que contribuem para a sua degradação e que geralmente ocorrem na sequência de tempestades.

No entanto, no decorrer do presente trabalho, houve a possibilidade de verificar as potencialidades desta ferramenta em muitos outros domínios da gestão costeira, como sejam para avaliar capacidade de cargas de praias, estacionamento e acessos, avaliação da legalidade de usos no domínio hídrico em termos de áreas de implantação e no apoio à fiscalização de obras entre muitos outros. Mas, sem dúvida, o aspeto mais marcante da potencialidade desta metodologia, se utilizada de forma abrangente e sistemática, prende-se com a possibilidade de poderem ser efetuadas medidas muito precisas sobre a variabilidade da morfologia costeira em extensos troços senão mesmo na extensão total da orla costeira continental, como sejam praias, sistemas dunares e inclusivamente arribas. Esta abordagem permite assim o desenvolvimento de um indicador de síntese muito preciso de extensos troços com recurso a dois simples fatores - erosão e acreção - o qual constituiria um marco na gestão costeira face aos múltiplos interesses da sua utilização: Indicadores de caracterização nacionais e com expressão local de alta precisão, incluindo arribas; Avaliação da eficiência da política de sedimentos a nível local e em extensos troços; Dados muito mais objetivos sobre o

equilíbrio sedimentar e os efeitos do forçamento oceânico e climático, tudo temas essenciais para apoiar estratégias de adaptação costeira fundamentadas

Esta dissertação é o resultado de um estágio na Agência Portuguesa do Ambiente I.P., a qual decorreu entre o mês de maio e de setembro de 2017, perfazendo um total de aproximadamente de 1 450 horas. Durante o estágio foi processada diversa informação com recurso a diversos programas e uma parte muito significativa do trabalho foi dedicada à componente técnica de planeamento e recolha de dados para a elaboração desta dissertação, na qual se tirou proveito de um VANT de seis motores adquirido pela APA, intensamente utilizado durante o estágio e sem que tenha havido desvio da sua utilização das áreas de interesse da instituição.

A presente dissertação baseia-se na utilização de *softwares* de processamento e de desenvolvimento de dados, especificamente, o *ArcGis*, *Pix4D*, *Agisoft PhotoScan Pro*, *Mission Planner*, *MatLab*, *Excel*, *RoboGeo*, entre outros.

## **1.1. Enquadramento do Problema**

“A zona costeira portuguesa, continental e insular, está sob pressão. O litoral português é detentor de uma elevada perigosidade, vulnerabilidade e risco e apresenta evidentes fragilidades face aos impactos das alterações climáticas enfrentando atualmente, numa extensão considerável, uma ameaça significativa decorrente dos fenómenos de erosão costeira, galgamento/inundação, instabilidade das arribas e movimentos de massa de vertente” (Ferreira, 2016).

No que concerne à elevada dinâmica e complexidade do litoral qualquer alteração nas suas características vai promover modificações no seu comportamento. “O homem transforma o espaço de acordo com as suas necessidades e disponibilidade de recursos” (Ferreira, 2016), o que fomenta uma transformação na dinâmica costeira, daquela que previamente estava estabelecida.

De acordo com Ferreira (2016) & Veloso-Gomes *et al.*, (2006), há uma relação evidente entre o aumento da artificialização presente no litoral que, de forma irreversível, induz impactos negativos no mesmo. Para tal, são utilizadas ferramentas de natureza técnica, legal, institucional e administrativa de forma a amenizar os riscos presentes. A nível nacional, Portugal apresenta evoluções acentuadas na sua morfologia costeira, sendo que as principais causas se devem ao défice sedimentar instalado e ao “enrijecimento” da costa com obras de proteção de canais de navegação e de defesa costeira para proteção de atividades e usos que se encontram instaladas em zonas geralmente muito vulneráveis à ação das águas costeiras.

Deste fenómeno resulta uma perda significativa do território para o mar e o crescimento de zonas de risco devido ao avanço deste (Figura 1.1).

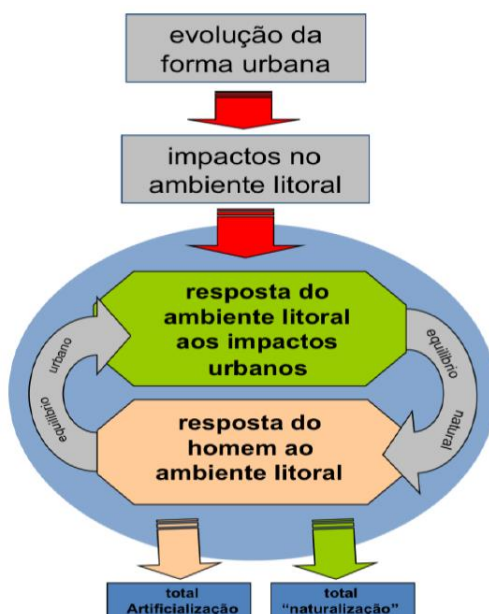


Figura 1.1 - Fenómeno Cíclico entre os processos de artificialização e o ambiente do litoral (Fonte: Ferreira *et al.*, 2009).

Existem diversos problemas associados à alteração da dinâmica costeira. Aqueles que mais se salientam, devido à sua amplitude, são a erosão costeira e a ocupação de áreas de grande vulnerabilidade ao que acrescem agora das alterações climáticas, com a consequente perda de território e de valores naturais, económicos e sociais (Dias J. M., 2009).

Para Dias (2009), a **Erosão Costeira** é provavelmente o pior problema verificado no litoral português. Os sedimentos não chegam em quantidades suficientes ao litoral, verificando-se a erosão costeira e o consequente recuo da linha de costa. Este défice sedimentar é provocado por diversas atividades antropogénicas e muito particularmente pela regularização de linhas de água, como são, por exemplo, os aproveitamentos hidráulicos, a extração de inertes e as obras costeiras de que se destacam os molhes portuários pela sua influência no trânsito sedimentar costeiro.

A **intensa ocupação de zonas de risco num passado recente** intensifica o problema anterior, uma vez que a sua crescente vulnerabilidade origina a necessidade de se construir ou reforçar defesas costeiras sem que o problema de fundo, o défice sedimentar, se resolva. Segundo Dias (2009), muitos sectores costeiros a nível nacional apresentam os seus recursos comprometidos, sobretudo a este tipo de ocupação.

Relativamente às **alterações climáticas**, a subida do nível médio do mar (NMM) e a alteração dos regimes de tempestades são os aspetos mais preocupantes a considerar nesta ótica. Quer um quer outro fenómeno têm como resultado a ampliação do efeito da erosão marítima, dos

galgamentos oceânicos e das inundações das zonas baixas costeiras por ação simultânea das águas interiores e marítimas.

Face aos problemas anteriormente enunciados e à importância no todo nacional dos territórios costeiros, a nível económico, social e ambiental, é clara a necessidade - e que se encontra plasmado em diversos documentos estratégico nacionais - em se apostar em modelos de desenvolvimento mais sustentáveis e que dirimam os crescentes conflitos instalados e que ajudem à convergência de esforços e vontades.

As obras de defesa costeira, pelo custo e necessidade que comportam atualmente e face às tendências expectáveis no futuro, seja próximo ou longínquo, requerem que sejam objeto de uma atenção ajustada à sua dimensão e função, pelo que os processos que concorrem para seu planeamento e gestão, para serem pragmáticos e responsáveis, requerem que sejam implementados processos proporcionais de monitorização que ajudem a otimizar as respostas que são necessitadas (GTL, 2014; Lemos *et al.*, 2014).

Segundo Lemos *et al.*, (2014) é assumido que durante o período de vida útil de uma infraestrutura de defesa marítima, é necessário realizar obras de reparação sempre que sejam ultrapassadas as condições mínimas funcionais.

Para que sejam realizadas intervenções de reparação no tempo de vida destas obras costeiras, é imprescindível que este tipo de estruturas sejam monitorizadas sistematicamente ao longo da sua vida útil, de forma a ser acompanhado o seu comportamento estrutural e, procurar, quando necessário, o instante mais oportuno de intervenção.

Segundo Henriques *et al.*, (2016), a monitorização da parte emersa de sistemas artificiais de defesa costeira baseia-se, em grande parte, por inspeções visuais, ou seja, visuais. A metodologia proposta nesta dissertação, através da realização de levantamentos periódicos com recurso a VANT, permite a obtenção de resultados visuais e quantitativos mais sistematizados e muito precisos. Assim, uma análise visual, aliada a uma análise de resultados mensuráveis, acaba por ser uma mais-valia nos processos de apoio à tomada de decisão, não só porque ajuda a prevenir com maior eficiência os riscos associados ao avanço das águas, como permitirá maior eficiência financeira no planeamento e gestão das obras.

## **1.2. Objetivo e âmbito**

Esta dissertação apresenta como objetivo a elaboração de uma metodologia de monitorização periódica de sistemas costeiros (naturais e artificiais) com recurso à utilização de um Veículo Aéreo Não Tripulado

Os VANT, associados a sensores óticos e a *softwares* de processamento de dados, são capazes de produzir, de forma expedita e económica, ortomosaicos e modelos digitais de terreno que permitem a obtenção de dados de grande precisão para mensurar pequenas variações registadas no terreno.

Para tal, foi utilizado um modelo para obtenção e processamento de imagens RGB obtidos por VANT, em que, através do pós-processamento desses dados em diferentes períodos, permite a fácil comparabilidade de diferentes momentos na evolução da obra e de relevante importância para os processos de manutenção da obra.

Para a aplicação desta metodologia foram utilizados dois casos de estudo: os dois esporões da Cova do Vapor, EV1 e EV2. Embora a Cova do Vapor seja um aglomerado costeiro que apresenta grandes fragilidades relativamente ao avanço do mar e dependa intrinsecamente da qualidade estrutural das obras de defesa pesada que a protegem, a razão da sua escolha deveu-se mais a razões práticas de ordem logística que se prendem com a sua proximidade da sede da APA I.P. do que devido a outros fatores.

### **1.3. Organização da dissertação**

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos.

No **Capítulo 1** “Introdução” é apresentado o enquadramento do problema, bem como o objetivo e o âmbito da dissertação.

No **Capítulo 2** “Os Desafios Do Litoral Continental Português” é elucidado sobre os temas relevantes do litoral continental português, nomeadamente sobre a sua dinâmica e evolução da linha de costa, bem como a sua divisão em diferentes células sedimentares e a população e bens presentes neste. São caracterizadas as ações naturais e antropogénicas que influenciam o comportamento e dinâmica da linha da costa e o efeito das alterações climáticas na amplificação destas ações. Referem-se os documentos legais mais relevantes para o estudo do tema apresentado na presente dissertação e expõem-se as várias perspetivas das componentes que integram a gestão e a adaptabilidade costeira face às alterações climáticas, nomeadamente a defesa, acomodação e recuo estratégico.

No **Capítulo 3** “Os Desafios Dos Litorais Baixos E Arenosos: A Defesa Costeira Entre A Cova Do Vapor E A Costa Da Caparica”, neste capítulo é abordada uma análise pormenorizada do comportamento da linha de costa, bem como as intervenções de defesa em particular nos esporões EV2 e EV1. Neste capítulo também é caracterizado a título de exemplo, algumas ocorrências de eventos de agitação marítima extremos.

No **Capítulo 4** “O Potencial Dos Veículos Aéreos Não Tripulados Para A Monitorização De Obras Costeiras” é realizado uma revisão dos temas relevantes sobre os VANT, as suas vantagens e desvantagens, diferentes tipos de classificação e legislação reguladora (europeia e nacional). Neste capítulo são abordadas as várias tecnologias e processamento de dados geográficos através de levantamentos realizados por VANT. No mesmo capítulo é elucidado sobre as especificações de vários tipos de missões, consoante diferentes tipos de modelos desejados, a utilização de GCP e GPS RTK. Exemplifica-se ainda o estudo de três casos recentes, relativamente ao levantamento, processamento e análise de dados obtidos com recurso a VANT relevantes para a dissertação realizada.

No **Capítulo 5** “Metodologia Para A Monitorização Das Obras De Defesa Costeira Entre A Cova Do Vapor E A Costa Da Caparica” é explanada a metodologia geral para a obtenção de levantamentos fotogramétricos, o seu posterior processamento e análise (visual e quantitativa). Do processamento dos levantamentos resultam: os ortomosaicos, modelos digitais de terreno e nuvens de pontos, sendo estes os principais objetos de análise do presente trabalho. Neste capítulo também é abordado a metodologia específica, no qual é aplicada apenas para os casos de estudo utilizados, nomeadamente o esporão EV1 e EV2.

No **Capítulo 6** “A Monitorização Das Obras De Defesa Costeira Entre A Cova Do Vapor E A Costa Da Caparica Com Recurso A Veículos Aéreos Não Tripulados ” são relatados os resultados obtidos através do estudo dos esporões EV1 e EV2 da Cova do Vapor e a sua consequente discussão e explicação. Para os resultados visuais aplicaram-se três tipos de análise: a sobreposição 2D entre diferentes ortomosaicos, a identificação de faces visíveis dos enrocamentos e a comparação direta através da sua justaposição. Relativamente aos resultados quantitativos, são calculadas as alterações entre o Modelos Digitais de Terreno (MDT) de 2011 e o MDT de 2017 (obtidos com recurso ao VANT). A quantificação das modificações estruturais dos esporões obtiveram-se através da análise de perfis temporais de várias secções, na diferença do valor dos pixéis e da utilização da ferramenta de cálculo volumétrico do *software* de processamento *Pix4D*.

No **Capítulo 7** “Conclusões: As Potencialidades Da Metodologia E Considerações Finais” é abordado as propostas de otimização da presente metodologia de forma a obter modelos com maior precisão relativa e absoluta. Neste capítulo também aborda-se uma proposta metodológica para a monitorização e avaliação periódica de sistemas de defesa costeiro (artificial e natural) a nível nacional, com recurso a VANT, através da análise entre Modelos Digitais de Terreno em diferentes espaços temporais. Por fim, apresenta-se a síntese do trabalho, no qual é sintetizado os principais resultados, bem como o cumprimento dos objetivos propostos, as limitações presenciadas e recomendações para futuras investigações e aplicações da presente metodologia.



## 2. OS DESAFIOS DO LITORAL CONTINENTAL PORTUGUÊS

“As zonas costeiras assumem uma importância estratégica em termos ambientais, económicos, sociais, culturais e recreativos, pelo que o aproveitamento das suas potencialidades e a resolução dos seus problemas exigem uma política de desenvolvimento sustentável apoiada numa gestão integrada e coordenada dessas áreas” (ENGIZC – Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira, 2009)

A zona costeira nacional apresenta uma elevada sensibilidade ambiental, uma vez que apresenta um elevado número habitats, recursos naturais de grande produtividade e diversidade biológica intrínseca (Veloso-Gomes *et al.*, 2006).

A orla costeira de Portugal continental, com cerca de 900 km, estende-se desde a foz do rio Minho até à foz do rio Guadiana e apresenta uma elevada diversidade de ambientes morfossedimentares, incluindo praias, falésias, estuários, lagoas e ilhas barreiras. Dos vários ambientes presentes no litoral, as praias e as arribas são as predominantes, apresentando cerca de 60% e 35%, respetivamente (Andrade, C. & Freitas, C., 2002).

Ao mesmo tempo, é junto à linha de costa que vive a maior parte da população portuguesa (75% da população) e onde ocorrem importantes atividades económicas, nomeadamente transporte marítimo, turismo e lazer, náuticas, pescas, extração de recursos minerais e energéticos, contribuindo com cerca de 85% do PIB nacional (Santos *et al.*, 2002).

A “Resolução do Conselho de Ministros n.º82/2009” define conceitos que importa reter para quem trabalha com litoral (Figura 2.1):

- **Litoral** – termo geral que descreve porções do território que são influenciadas direta e indiretamente pela proximidade do mar;
- **Zona costeira** – porção de território influenciada direta e indiretamente em termos biofísicos pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que pode ter para o lado de terra largura tipicamente de ordem quilométrica e se estende, do lado do mar, até ao limite da plataforma continental;
- **Orla costeira** – porção do território onde o mar exerce diretamente a sua ação, coadjuvado pela ação eólica, e que tipicamente se estende para o lado de terra por centenas de metros e se estende, do lado do mar, até à batimétrica dos 30 m (englobando a profundidade de fecho, aquela a partir da qual os sedimentos se consideram perdidos para os processos típicos desta orla, como, por exemplo, a deriva litoral);
- **Linha de costa** - fronteira entre a terra e o mar; materializada pela interceção do nível médio do mar com a zona terrestre.

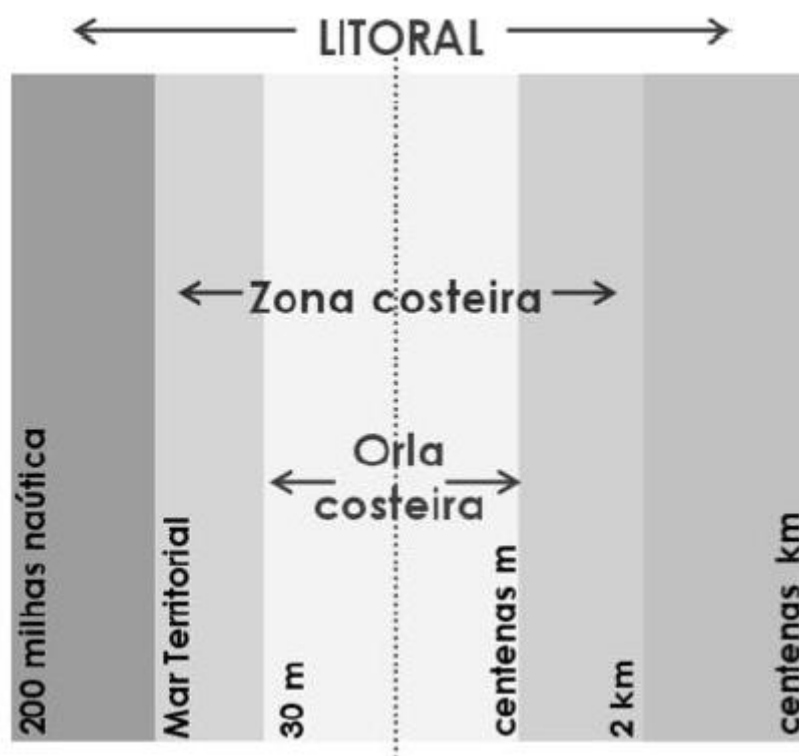


Figura 2.1 - Os vários Limites Costeiros presente nas Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional (Fonte: ENGI-ZC, 2009).

As potencialidades presentes no litoral estão relacionadas essencialmente com os recursos naturais disponíveis, as características climáticas e as atividades antropogénicas presentes. As suas vulnerabilidades derivam não só do dinamismo dos agentes naturais, mas também da intervenção humana e que combinados levam à descaracterização do litoral, à sobre-exploração dos recursos naturais e à destruição dos ecossistemas, colocando em risco não só o ambiente como também a população que habita nessas zonas (Oliveira, 2015).

## 2.1. Dinâmica e Evolução da costa portuguesa

Na atualidade, a configuração do litoral é o resultado da interação entre os fatores geodinâmicos (internos e externos) e a ação do homem. Esta relação entre diferentes agentes naturais e antropogénicos faz com que o litoral seja uma área bastante dinâmica e complexa. É desta complexidade evidenciada que resultam as grandes potencialidades presentes nestes ecossistemas, mas também a sua vulnerabilidade e fragilidade (Dias J. M., 2005).

Segundo o Grupo de Trabalho do Litoral (GTL) (2014) e Dias (2005), a posição e o traçado da linha de costa portuguesa dependem de uma enorme variedade de fatores, resultantes da intercessão da hidrosfera (nível médio do mar, ondas, marés, correntes costeiras), da geosfera (arribas, praias, estuários, lagoas), da atmosfera (ventos), dos sedimentos (natureza, dimensão, disponibilidade) e das atividades antrópicas. Por norma, uma pequena alteração num dos parâmetros mencionados anteriormente, pode provocar alterações significativas no seu sistema. Como se pode observar no seguinte esquema (Figura 2.2), a evolução da linha de

costa depende, substancialmente, da interação entre o fornecimento sedimentar, agitação marítima e variações do nível médio do mar (NMM).

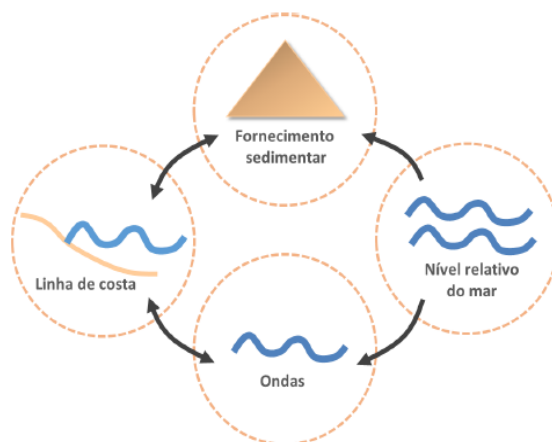


Figura 2.2 - Esquema simplificado dos processos que condicionam o posicionamento e o traçar da linha de costa (Fonte: GTL, 2014).

Como referido anteriormente, o balanço sedimentar é um dos parâmetros essenciais na caracterização do posicionamento da linha da costa portuguesa e neste esquema (Figura 2.2) é caracterizado como sendo a quantificação das entradas (fontes) e saídas (sumidouros) de sedimentos no sistema e evidenciado na Figura 2.3 (van Rijn, 2010). Quando o balanço dos sedimentos no sistema for positivo, a tendência da linha é para o seu avanço e se for negativo é o inverso, ou seja esta tende a recuar por processos de erosão, havendo consequentemente o avanço do mar.

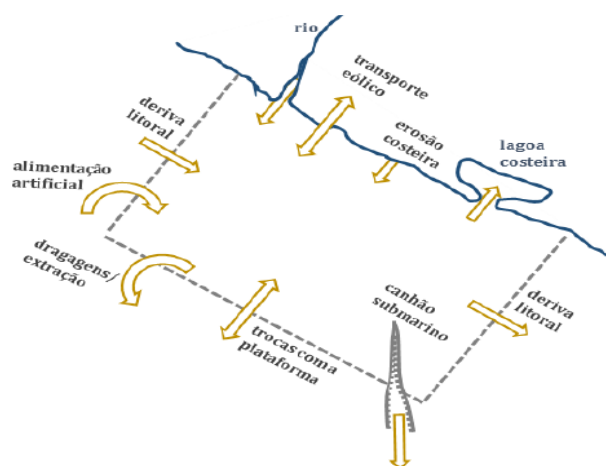


Figura 2.3 - Representação esquemática de uma célula sedimentar e os processos que a caracterizam (Fonte: van Rijn, 2010).

A regularização de linhas de água, extração de inertes e obras de defesa no domínio hídrico são fatores que contribuem para o défice sedimentar registado no litoral (GTL, 2014).

Segundo Valle (2014), a construção de barragens é uma importante causa na redução do fornecimento sedimentar para a costa portuguesa, nos quais estes são responsáveis pela retenção de mais de 80% dos volumes de areias transportados. A redução do transporte

sedimentar também é associado ao efeito de retenção sedimentar nas albufeiras, bem como a regularização das velocidades, devido à atenuação das cheias (Abecasis, 1997; Santos-Ferreira & Santos, 2014). Este assunto será retomado mais adiante na presente dissertação, nas ações antropogénicas (subcapítulo 2.5)

### 2.1.1. Evolução da linha de costa

Olhar para o passado é a melhor forma de se perceber a evolução dos complexos fenómenos do presente e perspetivar as tendências de evolução futura.

Segundo Dias (2004), face ao Último Máximo Glaciar (UMG), há 18 000 anos, o processo que mais condicionou o comportamento e a posição da linha de costa foi a variação do nível médio do mar. No UMG, o nível do mar encontrava-se a cerca de 120 a 140 metros abaixo do nível presente e a posição da linha da costa distanciava-se a várias dezenas de quilómetros (GTL, 2014). Na Figura 2.4, é possível evidenciar a possível evolução da linha de costa desde o UMG até ao presente (Dias J.M., 1987; Adaptado por Dias, J. M., 2005)

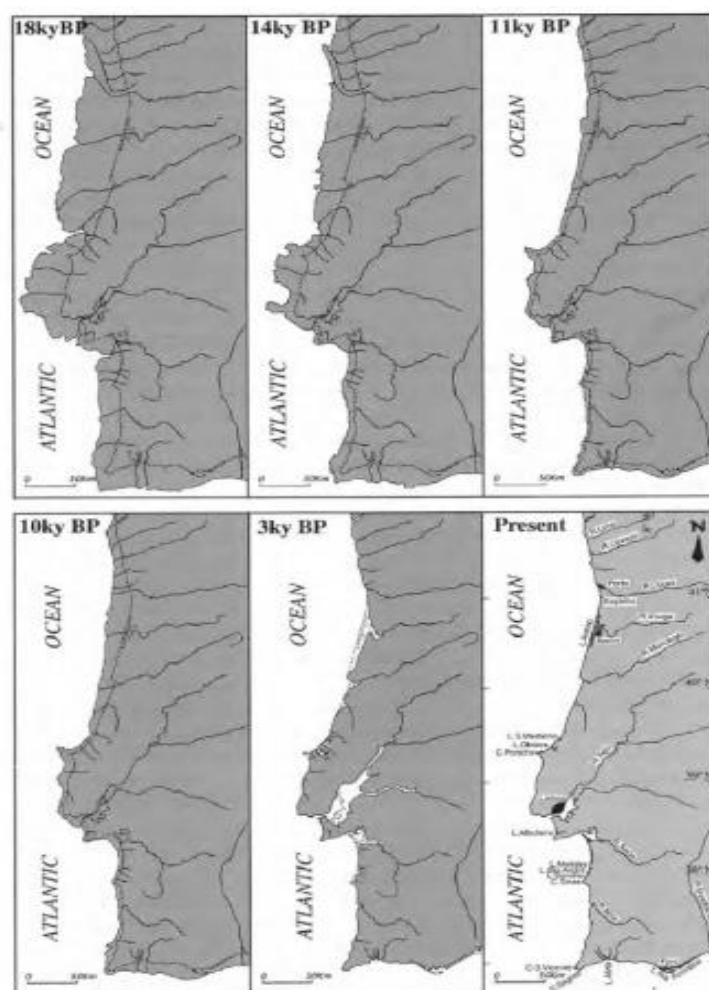


Figura 2.4 - Possível hipótese da evolução da linha de costa de Portugal Continental desde o UMG (Fonte: Dias J.M., 2005).

Através de processos como a deglaciação e o período de aumento da temperatura global, ocorridos há cerca 18 000 e 7 000 anos antes da era atual, originaram uma contínua subida do nível médio do mar, acompanhada por “inundações de vales e das terras baixas anteriormente escavados e originando uma configuração costeira mais recortada, com rias e estuários profundamente embutidos para o interior” (Dias J.M., 2004)

A deglaciação, ocorrida com o início do Holoceno, há cerca de 10 000 anos, promoveu uma nova subida do NMM, diminuindo os processos de deposição do litoral, no qual os sedimentos depositados nos vales estuarinos ficaram consolidados, tornando a costa rochosa (Dias, J. M., 2004).

A estabilização do nível médio do mar ocorreu há aproximadamente 3 500 anos atrás, considerando que, segundo Dias (2004), desde esse período, não ocorreram alterações significativas no padrão de circulação atmosférico, ou seja não apresentou alterações climáticas significativas no seu comportamento.

No período atual, o principal fator influenciador do comportamento da linha de costa é o balanço sedimentar onde, em situações de *superavit* sedimentar a costa migrou em direção ao mar, ocorrendo fenómenos de acreção/progradação e em situações de défice a linha da costa migrou em direção à terra, ocorrendo situações de erosão/recuo costeiro (GTL, 2014).

Após a “Pequena Idade do Gelo”, sensivelmente entre o século XVI e o final do século XIX, a costa portuguesa sofreu uma intensa sedimentogénese com um comportamento regressivo marcado, ou seja, a linha da costa deslocou-se em direção ao oceano. O comportamento costeiro evidenciado deveu-se, essencialmente, a temperaturas baixas, ao aumento da precipitação e à velocidade do vento, intensificando os fenómenos de meteorização, erosão e transporte sedimentar (Dias, J. M., 1990), não sendo de excluir alterações ao nível das práticas agrosilvícolas e que foram favoráveis à erosão dos solos.

Segundo Teixeira (2014), o litoral passou a apresentar uma tendência regressiva a partir do século XIX, i.e. a linha de costa dirige-se para o interior do continente. Este comportamento está relacionado com a redução do fornecimento sedimentar ocorrido por consequência das atividades antropogénicas, nomeadamente a extração de inertes, construções de barragens, práticas agrícolas e construção de obras portuárias

Num estudo realizado por Lira (2014), encontra-se representado a evolução da linha de costa face aos últimos 50 anos, através da análise cartográfica entre a fotografia aérea do voo USAF 1958 e os ortomapas de 2010. Na Figura 2.5 é possível evidenciar a evolução da costa portuguesa, em metros por ano, mostrando as várias porções do litoral português que apresentou acreção ou erosão.

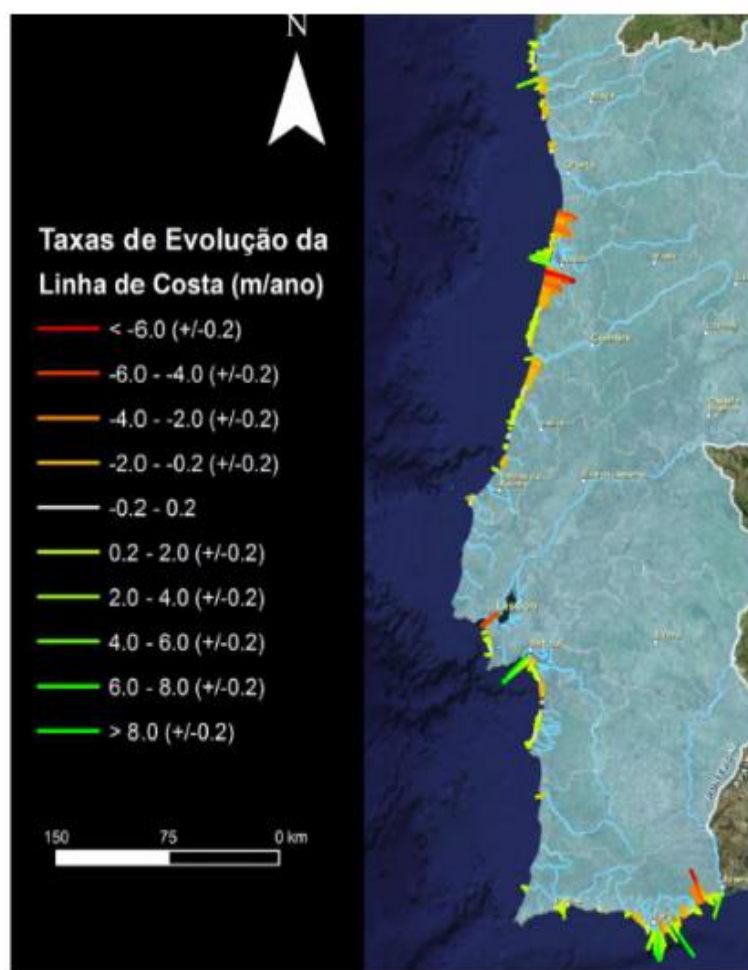


Figura 2.5 - Evolução da linha da costa portuguesa entre 1958 a 2010 (Fonte: Lira, 2014).

Como podemos entender, da análise última figura, nos últimos 50 anos a região do centro apresentou uma taxa de evolução maioritariamente negativa, nomeadamente a sul de Espinho e na região de Aveiro.

Segundo Dias (1993), o recuo da linha de costa a sul da barra em Aveiro, entre os períodos de 1900 e 1990 apresenta taxas bastante significativas, atingindo valores na ordem dos 9 m.ano<sup>-1</sup>. Esta taxa de recuo decorreu essencialmente da introdução dos molhes portuários, interrompendo a deriva do litoral, tema este que será melhor explicado mais à frente na presente dissertação.

## 2.2. Células sedimentares

Face às características geomorfológicas, o litoral continental português foi dividido em oito células sedimentares, como se pode observar na Figura 2.6. Sempre que considerado pelos autores, algumas células sedimentares foram subdivididas em subcélulas (GTL, 2014).

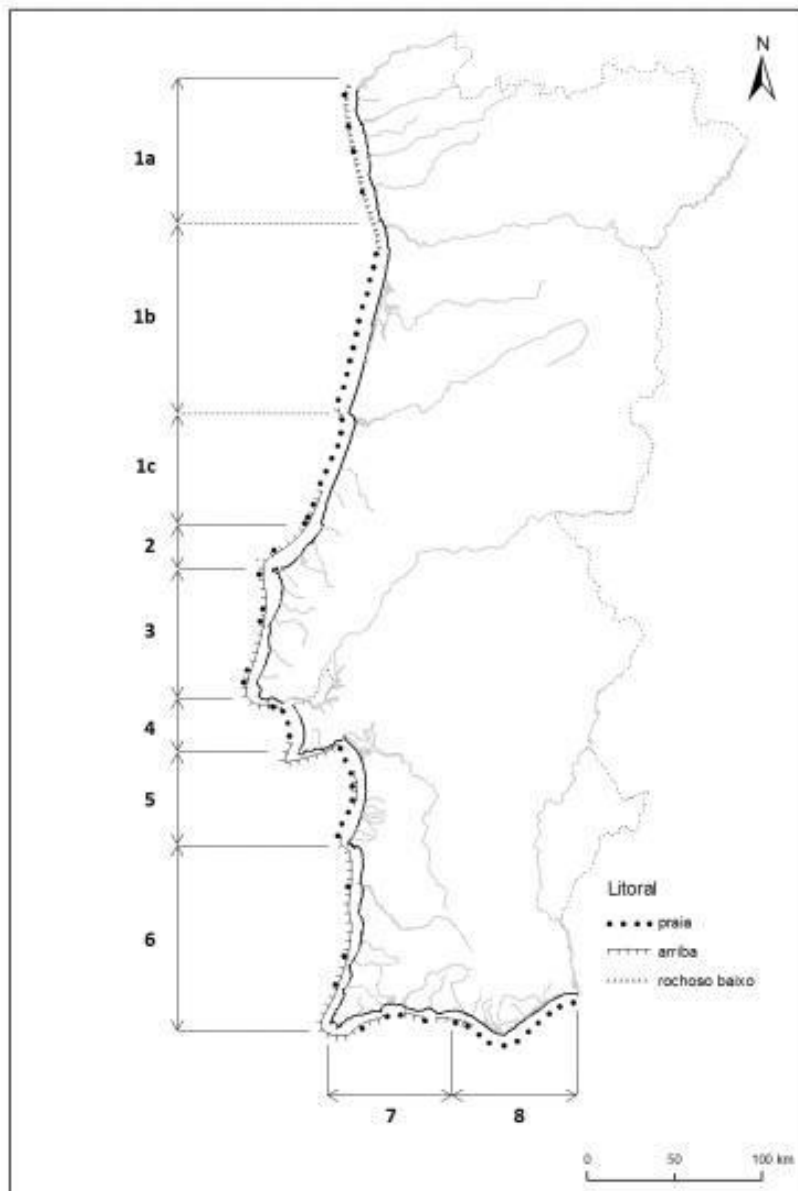


Figura 2.6 - Divisão do litoral português em oito células sedimentares face as suas características geomorfológicas (Fonte: GTL, 2014).

Nesta organização dominam a homogeneidade geomorfológica e os processos de fornecimento e distribuição sedimentar (caudal sólido, acreção/erosão costeira, deriva litoral).

Segundo Brilha (2005), a geomorfologia presente em Portugal Continental é estruturada por três conjuntos principais, o Maciço Antigo, a Orla Mesocenoica Ocidental e a Bacia Cenozoica do Tejo-Sado.

Relativamente à geomorfologia do Maciço Antigo, este compreende as rochas mais antigas que afloram em Portugal continental com idades superiores a 1 000 milhões de anos, apresentando na sua composição rochas metamórficas e rochas magmáticas (Brilha, 2005).

As Orlas Mesocenoicas apresentam rochas formadas nos últimos 245 milhões de anos e a bacia Cenozoica do Tejo-Sado apresenta aglomerados formados há 65 milhões de anos,

predominando os sedimentos transportados e acumulados pelos rios durante esse intervalo (Brilha, 2005).

Segundo o GTL (2014), as células sedimentares apresentam as seguintes características geomorfológicas e os consequentes balanços sedimentares:

- Célula 1

Esta célula, que se estende desde a foz do rio Minho à Nazaré, foi dividida em 3 subcélulas: do Minho ao Douro (1a), do Douro ao cabo Mondego (1b) e do cabo Mondego à Nazaré (1c). As três subcélulas encontram-se sujeitas a um clima de agitação agreste predominantemente com a orientação de NNW-SSE a NNE – SSW, o que se traduz num elevado potencial de transporte sólido, cerca  $1,1 \times 10^6 \text{m}^3 \text{ano}^{-1}$  a sul do rio Douro. A célula 1 distingue-se das restantes por ser caracterizada pela presença de um litoral com uma costa rochosa baixa, apresentando numerosas praias de areias e cascalho, como se podem observar na Figura 2.7.



Figura 2.7 - Exemplos de áreas do litoral da célula 1: a) A norte de Viana do Castelo; b) Paramos Barrinha de Esmoriz; c) A norte de Pedrogão (Fonte: SIARL, 2012).

As subcélulas sedimentares da célula 1 apresentam balanços sedimentares diferentes entre si, esta análise sedimentar pode ser entendida posteriormente:

- Subcélula sedimentar 1a (Minho-Douro) – Esta subcélula é caracterizada por apresentar uma redução no seu fornecimento por via fluvial, traduzindo-se no recuo da sua linha de costa. Esta subcélula apresenta um balanço sedimentar de  $-1,0 \times 10^5 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ .
- Subcélula sedimentar 1b (Douro- cabo do Mondego) – Devido ao défice presenciado na subcélula sedimentar 1a, este troço apresenta uma redução na entrada de sedimentos de  $6 \times 10^5 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ .
- Subcélula sedimentar 1c (Mondego – Nazaré) – Neste troço, os sedimentos são retidos pelo molhe norte da barra de Mondego, originando processos de défice de sedimentos da ordem os de  $6 \times 10^5 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ .

- Célula 2

Situa-se entre a Nazaré e Peniche, cujo litoral apresenta uma orientação NE-SW e é constituído, maioritariamente, por arribas, plataformas rochosas e praias lineares. Relativamente aos processos de fornecimento sedimentar, estes apresentam uma magnitude baixa, associados à erosão das arribas litorais e ao caudal fluvial (Penacho, 2013 & Lira *et al.*,



2013 *cit. in* GTL, 2014). Na Figura 2.8 pode-se observar o tipo de litoral presenciado nesta célula.

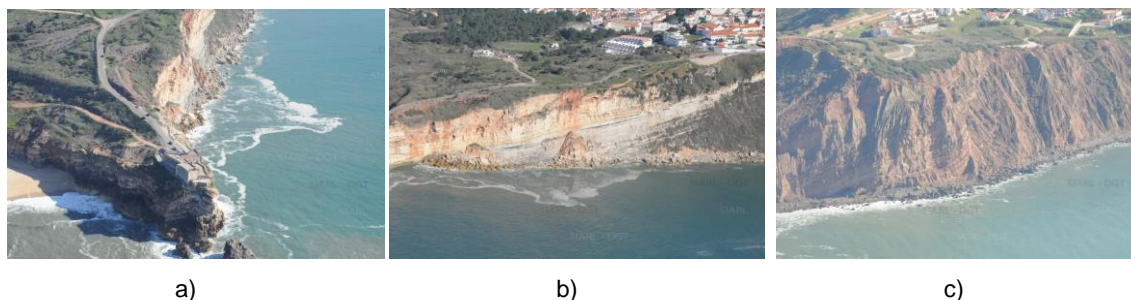


Figura 2.8 - Exemplos de arribas presentes na célula 2: a) Nazaré; b) Nazaré; c) Alfeizerão (Fonte: SIARL, 2012).

O fornecimento sedimentar nesta célula é cerca de  $10^4 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , com uma baixa influência antropogénica (Lira *et al.*, 2013 *cit. in* GTL, 2014).

- Célula 3

Esta célula situa-se entre Peniche e o cabo Raso, na qual apresenta numerosas praias arenosas e encaixadas, embora com geometria muito diferenciada. Estas desenvolvem-se geralmente em arribas, retomando uma orientação geral N-S. “As praias mais largas e curtas, frequentemente limitadas por um pequeno campo dunar, desenvolvem-se na dependência das fozes das linhas de água, enquanto as praias estreitas, lineares, por vezes com extensão quilométrica, associam-se à existência de promontórios naturais que propiciam retenção sedimentar limitada” (GTL, 2014). Na Figura 2.9 observa-se o exemplo de praias encaixadas e arribas nesta célula.

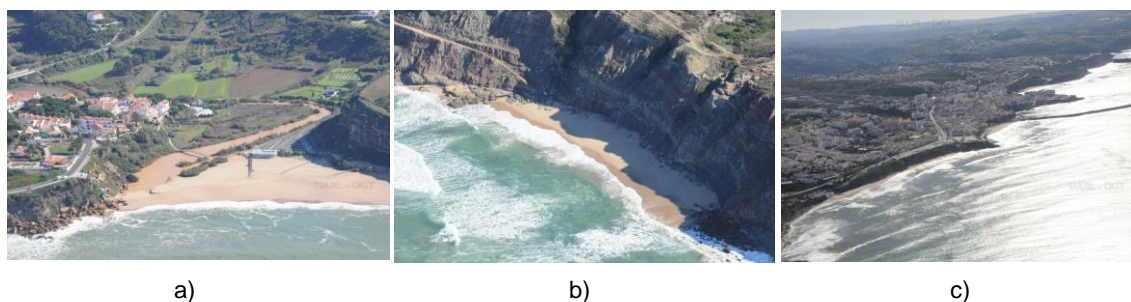


Figura 2.9– Exemplos de praias encaixadas na célula 3: a) Silveira; b) Ericeira; c) São Pedro da Cadeira (Fonte: SIARL, 2012).

- Célula 4

Esta célula encontra-se situada entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel, sendo que nos seus extremos desenvolve-se em arriba e na zona intermédia desenvolve-se em praias, como é o caso nas praias à frente da arriba fóssil da Caparica.

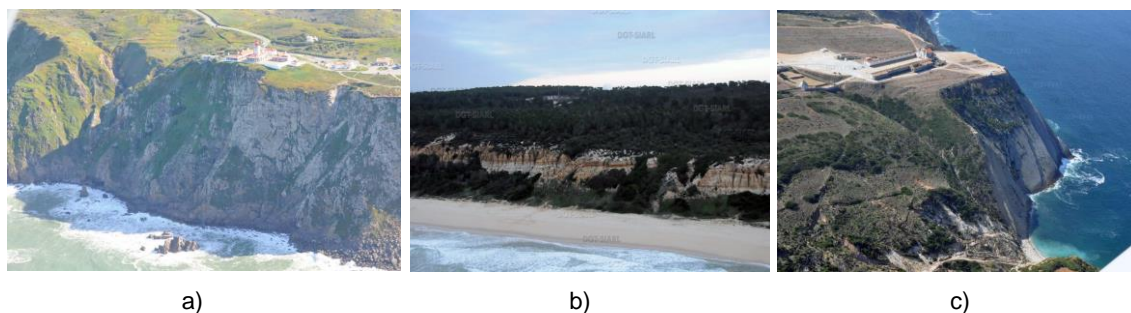


Figura 2.10 - Exemplos de arribas e praias encaixadas na célula 4: a) Colares; b) Fonte da Telha; c) Cabo Espichel (Fonte: SIARL, 2012).

Há autores que referem que esta célula poderia encontrar-se em equilíbrio não fora as extrações de sedimentos do passado no banco do Bugio (GTL, 2014).

- Célula 5

Situada entre o cabo Espichel e Sines, a célula 5 apresenta uma orientação E-W, encontrando-se abrigada da agitação dominante na costa ocidental portuguesa. A costa entre a foz do rio Sado (Troia) e Sines corresponde a um litoral arenoso, contínuo e com uma configuração arqueada, como evidenciado na Figura 2.11, sendo o principal fator para a sua situação de equilíbrio



Figura 2.11– Exemplos de um litoral arenoso e contínuo: a) Troia; b) Pinheiro da Cruz; c) Santiago do Cacém (Fonte: SIARL, 2012).

O fornecimento sedimentar decorrido nesta célula, embora pouco significativo, é efetuado quase na totalidade pela erosão das arribas da costa da Galé, uma vez que o rio Sado e a costa ocidente do mesmo apresentam uma contribuição muito reduzida no balanço sedimentar do troço.

- Célula 6

A célula 6, entre Sines e o cabo São Vicente, apresenta um litoral dominado por arribas altas com uma direção geral N-S, apresentando, principalmente na sua composição, rochas paleozoicas e mesozoicas (Figura 2.12).

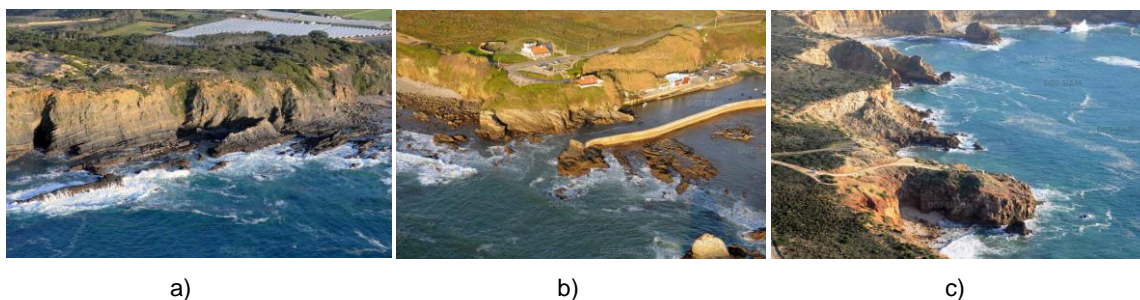


Figura 2.12 - Exemplos de um litoral com dominância de arribas altas: a) São Teotónio; b) Vila Nova de Mil Fontes; c) Carrapateira (Fonte: SIARL, 2012).

O fornecimento sedimentar desta célula é efetuado principalmente pela erosão das formações detríticas, onde os principais sumidouros são os sistemas dunares que se desenvolvem na foz das principais linhas de água, tais como Bordeira, Odeceixe e Vila Nova de Mil Fontes.

- Célula 7

O litoral da célula 7, situada entre o cabo de São Vicente e os Olhos de Água, apresenta essencialmente uma morfologia variada, marcada pelas suas arribas talhadas, maioritariamente por rochas mesozoicas e cenozoicas, como observa-se na Figura 2.13.

Esta célula sedimentar apresenta um reduzido fornecimento, dado que este é efetuado principalmente pelas arribas que a constituem.

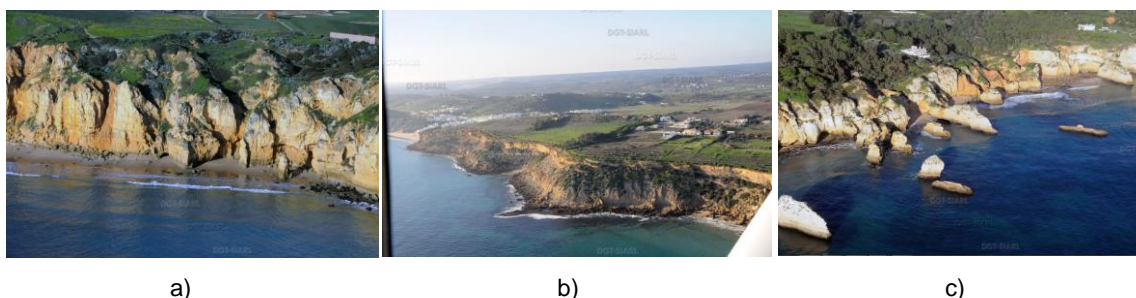


Figura 2.13— Exemplos de arribas talhadas na célula 7: a) Lagos; b) Faro; c) Tavira (Fonte: SIARL, 2012).

- Célula 8

A célula 8 encontra-se situada entre os Olhos de Água e a foz do rio Guadiana, correspondendo a um litoral de acumulação, na qual é delimitado por praias encaixadas em arribas a barlar, fortemente marcadas pela presença de formações cenozoicas e a sotamar pelas ilhas barreira da Ria Formosa e as extensas praias e sistemas dunares que se estendem até à foz do Guadiana.



Figura 2.14— Exemplos das paisagens do litoral presente na célula 8: a) Albufeira; b) Cama da Cavaca; c) Alvor (Fonte: SIARL, 2012).



Esta célula sedimentar sofre erosão principalmente entre Forte Novo e Garrão (a nascente de Quarteira), apresentando uma taxa de recuo médio de 0,20-0,80 m/ano devido às construções de estruturas portuárias, esporões e enrocamentos realizadas em Vilamoura e Quarteira. A célula sedimentar encontra-se em equilíbrio dinâmico devido à alimentação artificial de sedimentos, suficiente para saturar a deriva litoral.

### **2.3. A população e os seus bens**

“O litoral português é um espaço onde, ao longo dos séculos, se têm vindo a concentrar os aglomerados urbanos e muitas actividades económicas, nomeadamente piscatórias, portuárias, industriais e turísticas” (ENGIZC – Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira, 2009)

Até ao século XIX, a ocupação humana nas zonas costeiras era escassa, uma vez que estas tinham ambientes geralmente muito hostis, difíceis para a prática agrícola, bastante ventosos e expostos, facilmente sujeitos a pilhagens devido a atos de guerra e mesmo de pirataria. Já relativamente às zonas de estuário e lagunares, estas apresentavam uma elevada ocupação humana por serem naturais portos de abrigo e devido à presença de amplos recursos (Dias, J. M., 2005).

Nos finais do século XIX, os estratos sociais mais elevados começaram a frequentar as primeiras estâncias balneares, em que as suas principais motivações eram terapêuticas. Foi a partir destas que se começou a usufruir de novos serviços e se dá início à construção de infraestruturas no litoral, nomeadamente hotéis, clubes, alojamentos e acessos. Até a inícios do século XX, os impactes antropogénicos nas zonas costeiras eram relativamente baixos, sendo que a sua evolução era processada quase exclusivamente por fatores naturais (Dias J. M., 2005).

A partir da década de 70 do século passado, a utilização do litoral pela população nacional e estrangeira foi facilitada face à melhoria dos acessos, do aumento de poder de compra, a crescente utilização do transporte aéreo e o alargamento do tempo de férias, aumentando significativamente o turismo nestas áreas (Figura 2.15) (Dias, J. M., 2005).

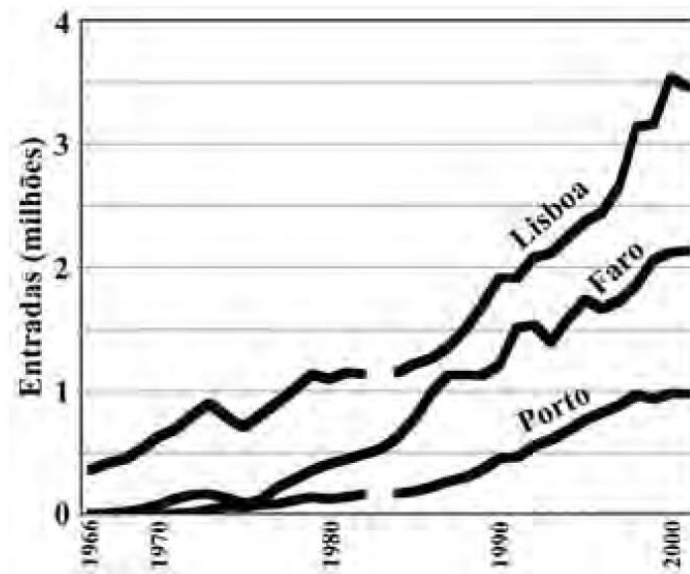


Figura 2.15 - Entradas de turistas nos aeroportos de Lisboa, de Faro e do Porto, entre 1966 e 2001  
(Fonte: Dias, J. M., 2005).

Perante as pressões observadas na figura anterior, face ao aumento do turismo no litoral, surgem as pressões imobiliárias que, em maior ou menor grau, rapidamente ocupam a zona litoral com vários tipos de empreendimentos, tanto turísticos como habitacionais. O que outrora era uma pequena povoação acabou por ser substituído por uma grande cidade (Dias, J. M., 2005).

A intensa ocupação demográfica e económica, os fluxos populacionais sazonais e a ocupação desordenada do território, nomeadamente nas zonas de risco, a sobre-exploração dos recursos, entre outros fatores criam pressões e alterações significativas sobre os ecossistemas costeiros.

A ocupação de zonas de risco aumentou a vulnerabilidade das populações, podendo induzir a graves desastres com perdas irreparáveis. É necessário definir regras de ordenamento do território para evitar que a ocupação antrópica aumente cada vez mais, incrementando os problemas resultantes da interação do Homem com a Terra (GTL, 2014). Na Figura 2.16 é ilustrado a título de exemplo a construção de empreendimentos em zonas de elevado risco.

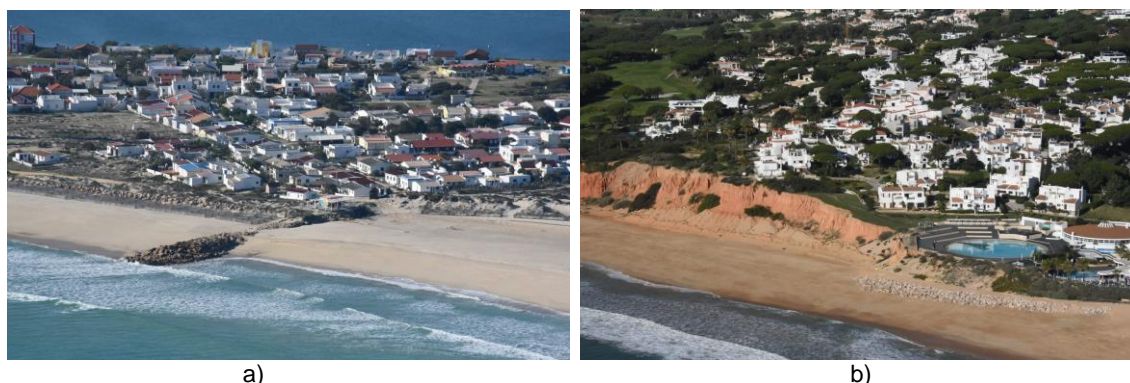


Figura 2.16 – Empreendimentos em zonas de elevado risco: a) Praia do Farol, Faro; b) Vale do Lobo, Loulé (Fonte: SIARL, 2012)

## 2.4. Ações Naturais

### 2.4.1. Marés

As marés são uma condicionante da orla costeira, sendo que estas podem ser classificadas em marés astronómicas e meteorológicas.

#### Marés Astronómicas

Segundo Coelho (2005), o fluxo e o refluxo das águas do mar junto à costa são uma consequência do posicionamento da Terra, do Sol e da Lua, sendo que a proximidade com a Lua é a principal influência do fenómeno de maré.

O movimento destes astros definem o ciclo das marés, no qual esta cresce ou decresce consoantes passagens pelas meridianas superior e inferior da Lua (Instituto Hidrográfico, 2017)

Num campo gravitacional terrestre ideal, ou seja, sem interferências exteriores, as águas à superfície terrestre sofreriam uma aceleração idêntica em direção ao centro da massa terrestre. No entanto, devido à existência de corpos com campos gravitacionais significativos, nomeadamente as forças de fricção entre as massas de água, o fundo e a força de *Coriolis*, há a indução de acelerações que atuam na massa terrestre com intensidades diferentes (Coelho, 2005 & Instituto Hidrográfico, 2017).

Segundo o Instituto Hidrográfico (2017), as preia-mares ou marés altas (nível máximo de uma maré cheia) ocorrem com um intervalo médio de meio-dia lunar (aproximadamente 12 horas e 24 minutos), em que o intervalo de tempo entre uma maré preia-mar e baixa-mar é em média 6 horas e 13 minutos. A baixa-mar ou maré baixa é o nível mínimo de uma maré vazante. Na Figura 2.17 encontra-se caracterizada uma maré semidiurna típica em Portugal segundo Coelho (2005).

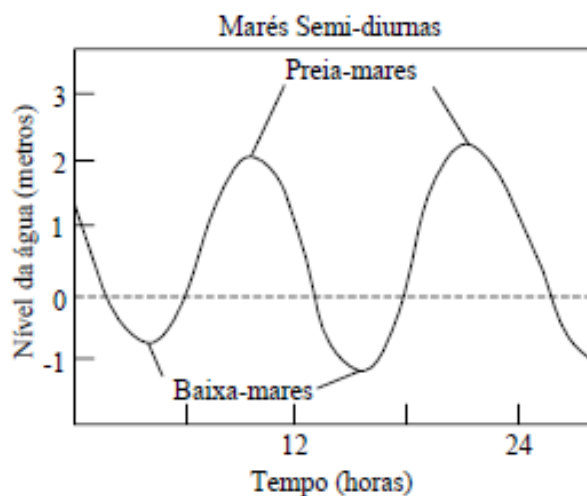


Figura 2.17– Caracterização de uma maré semidiurna típica (Fonte: Coelho, 2005).

As marés vivas são as que apresentam a maior amplitude do ciclo lunar e ocorrem quando o Sol e a Lua estão em oposição (Lua cheia) ou conjunção (Lua nova). As marés mortas ocorrem quando o Sol e a Lua estão em quadratura (quarto crescente e quarto minguante) e a atração gravitacional do Sol contraria a atração da Lua. As marés mortas são as que apresentam menor amplitude (Instituto Hidrográfico, 2017).

Regra geral, as amplitudes das marés vivas em Portugal Continental são cerca de 1,5 m, ou seja, o mar sobe e desce 1,5 m em relação ao nível médio. Nas marés mortas, a amplitude da maré é da ordem dos 70 cm, estes valores ilustram um facto conhecido, no qual a amplitude da maré diminui quando nos afastamos da costa. Com efeito, sabe-se que a maré se torna praticamente nula nas zonas centrais das grandes bacias oceânicas (Instituto Hidrográfico, 2017).

Segundo Coelho (2005), as marés astronómicas apresentam uma significativa influência na estrutura do litoral, configurando os seus perfis e as faixas emersas e imersas, afetando a zona intertidal, o tipo de rebentação, o espreamento das ondas e o movimento dos sedimentos, influenciando igualmente as taxas de erosão e acreção. Na Figura 2.18 observa-se o exemplo da Preia-mar e Baixa-mar na Costa da Caparica, com uma diferença na altura de água cerca de 1,30 m entre marés e que corresponde à zona húmida no areal.



Figura 2.18– Efeito da maré na Costa da Caparica, Almada. a) Baixa-mar; b) Preia-mar (Fonte: Fotografias obtidas a Agosto de 2017).

### **Marés Meteorológicas**

Segundo Coelho (2005), as marés meteorológicas são decorrentes da variação da pressão atmosférica ou da ação dos ventos, geralmente associados a tempestades, nos quais podem durar horas ou dias. A caracterização das marés meteorológicas é uma variante importante para a compreensão da evolução da faixa costeira, uma vez que estas, por norma, estão associadas às marés vivas, sendo esta a situação em que o mar se torna mais energético, havendo maior risco de galgamento e inundações.

As marés meteorológicas apresentam uma maior expressão nas baías, golfos, estuários e interiores de portos (zonas de costa “encaixadas”) do que nas costas expostas (à agitação e ventos) (Coelho, 2005). Segundo o mesmo autor, as situações mais gravosas são quando se

conjugam a situações de marés astronômicas com marés meteorológicas (ou *storm surge*) na qual a amplitude da maré aumenta significativamente.

O conhecimento e o estudo destes fenômenos são fundamentais, na medida em que apresentam um importante peso na dinâmica sedimentar do litoral e na variabilidade da linha de costa.

#### 2.4.2. Subida do Nível Médio do Mar

A variação do nível médio do mar, de acordo Dias & Taborda (1988), depende do volume total de água presente nas bacias oceânicas, da temperatura da água a diferentes profundidades e da batimetria das bacias oceânicas. Há outros fatores que apresentam influência da variabilidade do NMM, nomeadamente, as variações do período de rotação da Terra, embora sejam de difícil quantificação e correlação.

Os níveis médios do mar apresentaram várias alterações ao longo da história da Terra face às mudanças climáticas e a eventos geológicos, e consequentes ciclos glaciares que alteram o volume da massa oceânica (Antunes, 2014).

O último ciclo glacial iniciou-se há aproximadamente 120 mil anos, altura em que o nível médio do mar era ligeiramente superior ao atual. O último ciclo glacial terminou acerca de 20 mil anos e após este, iniciou-se o período interglacial que apresentou um contínuo aumento do nível médio do mar desde então (Antunes, 2014).

Na Figura 2.19, pode visualizar-se as variações do nível médio do mar que, segundo Komar (1976), na subida do nível do mar nos últimos 20 000, a configuração da costa permaneceu desajustada face à agitação marítima e ao clima presente.

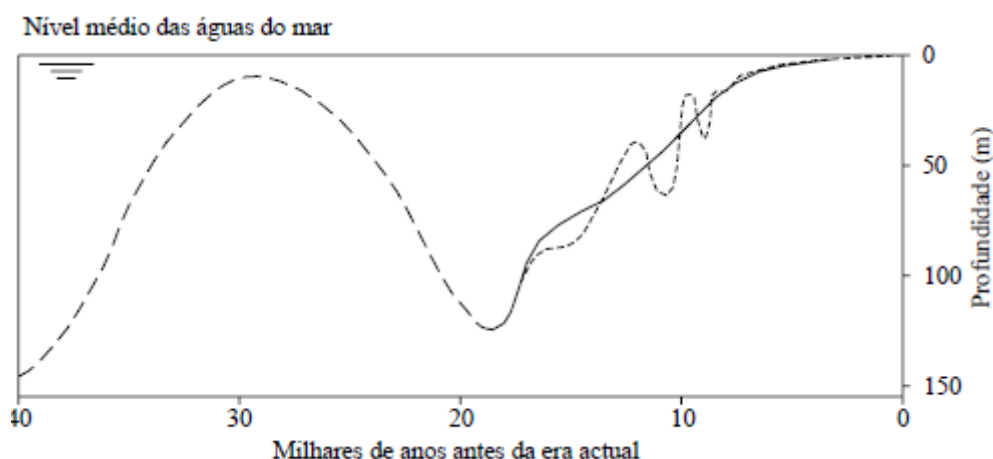


Figura 2.19– Variabilidade do NMM nos últimos 40 000 anos (Fonte: Komar, 1976; adaptado por Coelho, 2005).

Nos últimos 7000 anos, como se pode evidenciar na figura anterior, a linha de costa apresentou um comportamento de reajustamento mais lento, suavizando e linearizando a linha de costa, bem como atenuando os cabos e enchendo os estuários (Komar, 1976).



O aumento recente do NMM deve-se a duas causas essenciais, o degelo das calotes polares e dos lençóis de gelo; e a expansão térmica do oceano em aquecimento, provocadas pelo aumento da temperatura média global à superfície, (Weissenberger & Chouinard, 2015).

De acordo com o quinto relatório do IPCC (2014), desde a Revolução Industrial (século XVIII), o NMM globalmente subiu cerca de 20 cm. Segundo o mesmo relatório, durante o século XX, a taxa média anual do aumento do NMM foi de 1,7 mm/ano e desde o ano de 1993 a taxa média anual encontra-se entre os 2,8 e 3,6 mm/ano. Na Figura 2.20 é possível entender a tendência crescente das projeções e das observações realizadas por marégrafos e detecção remota do aumento do NMM.

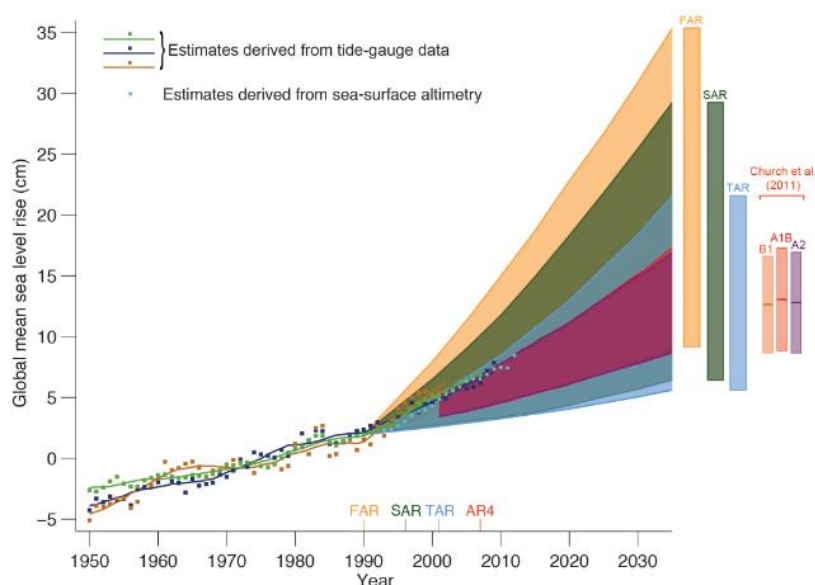


Figura 2.20 - Projeções e observações obtidas desde 1990 presentes nos relatórios do IPCC (AR1, AR2, AR3, AR4) (Fonte: IPCC, 2014).

A variação do nível do mar não é uniforme nos vários pontos do oceano, uma vez que estes pontos apresentam diferentes fatores externos, como por exemplo salinidade, temperatura do mar, pressão atmosférica, correntes marítimas e fenómenos como o *El Niño*. Na Figura 2.21 é possível observar as taxas de variação do nível médio do mar em diferentes locais entre o período temporal de 1993-2012 (IPCC, 2014)

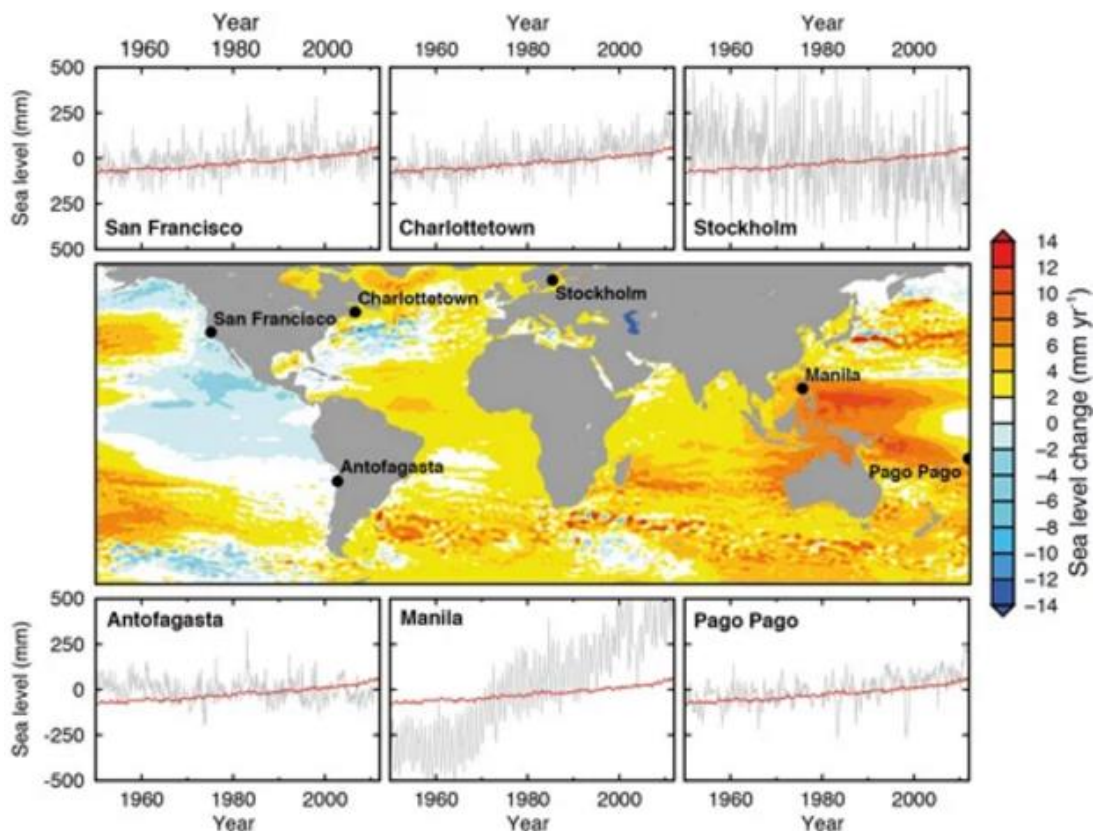


Figura 2.21 - Diferentes taxas de variação do NMM, observadas por marégrafos, em diferentes localizações entre 1993-2012 (Fonte: IPCC, 2014).

Da análise da última figura (Figura 2.21), entende-se que nas várias localizações em estudo, há uma variação crescente do NMM, principalmente na zona das Filipinas e no oceano Ártico. Até ao final do século XXI, o IPCC (2014) prevê um aumento do NMM global entre 0,26 a 0,98 m, consoante o tipo de projeção.

No entanto outros autores apontam outros valores como sejam Rahmstorf (2007) e Pfeffer *et al.*, (2008) que preveem aumentos de 0,5 a 1,4 m e 0,8 a 2,0 m, respetivamente.

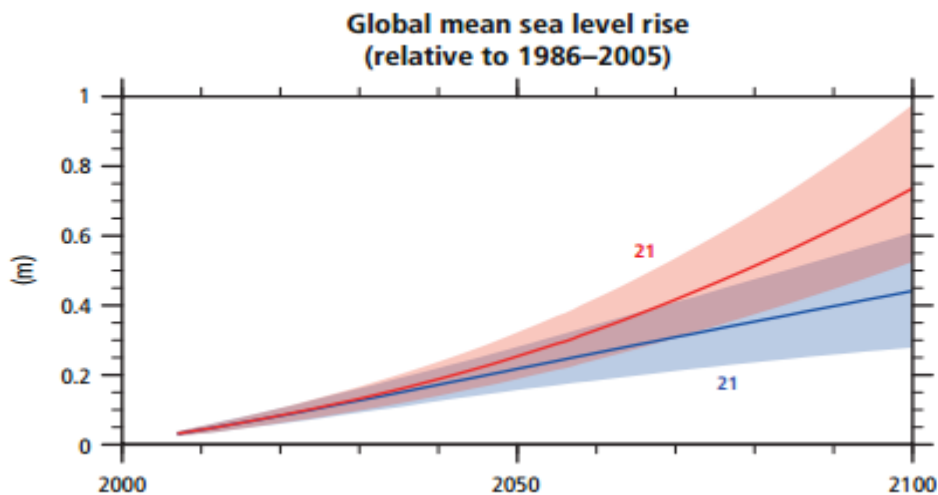


Figura 2.22 – Subida do NMM desde 2005 a 2100 segundo diferentes projeções (Fonte: IPCC, 2014).

Segundo o GTL (2014), o nível médio do mar ainda é influenciado pela inércia do sistema climático, principalmente a dos oceanos, ou seja, mesmo após a estabilização da temperatura média global, a taxa de aumento do NMM permanecerá, possivelmente durante séculos a milénios.

A nível nacional, a variação do NMM, observada através da utilização de marégrafos, apresenta um valor bastante próximo da taxa média global, com cerca de 1,5 mm/ano, entre o ano de 1882 e 1990 (Antunes & Taborda, 2009).

Antunes (2014), através da análise das medições do NMM obtidas com o marégrafo de Cascais entre 1880 a 2013, observou uma tendência crescente do NMM a nível nacional. Entre o período de 1977 a 2000 a taxa média anual do NMM foi de 2,1 mm/ano, enquanto entre 2000 a 2013 a taxa média anual aumentou significativamente para 4,1 mm/ano como se pode entender da análise da Figura 2.23.

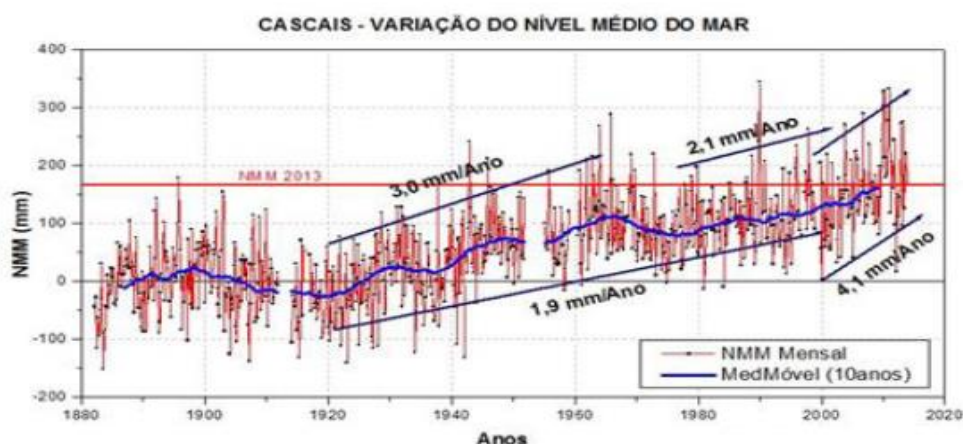


Figura 2.23 - Medições do NMM obtidas através do marégrafo de Cascais entre os anos de 1880 a 2013 (Fonte: Antunes, 2014).

Face à subida do nível médio do mar, a costa continental de Portugal, numa avaliação da sua vulnerabilidade realizada por Dias (2005) apresenta uma vulnerabilidade bastante elevada, nomeadamente na Laguna da Ria de Aveiro, no Estuário do Tejo, no Estuário do Sado e na Laguna da Ria Formosa.

Em harmonia com a elevada taxa de recuo, principalmente no centro do país, com as tendências instaladas, é de prever que a médio prazo se amplifique a erosão das zonas húmidas estuarinas e que se verifiquem mais galgamentos oceânicos, bem como assoreamentos nos corpos estuarinos e lagunares.

### 2.4.3. Ventos

Os ventos são um elemento climático de extrema importância na compreensão do comportamento das zonas costeiras, sendo este um dos elementos que está na génese da agitação marítima e no processo de transporte de areia e da formação de dunas. No litoral, o

vento é gerado pelas diferenças de temperatura entre o oceano e a superfície terrestre (Coelho, 2005).

Segundo Coelho (2005), as características dos ventos sentidos no litoral da costa portuguesa são pontos essenciais para estimar os impactos de erosão e galgamento costeiro, uma vez que são o principal responsável pela geração de ondas e agitação marítima, em que quanto maior a intensidade do vento, mais intensa a agitação e consequentemente maior a deriva litoral.

#### **2.4.4. Agitação marítima**

A agitação marítima decorre da interação entre o vento e a superfície da água do mar. A colisão entre moléculas de ambos os meios dá início a um processo de transferência de energia da atmosfera para o oceano, como se pode observar na Figura 2.24 (Instituto Hidrográfico, 2015; Adaptado por Ferreira, 2016).

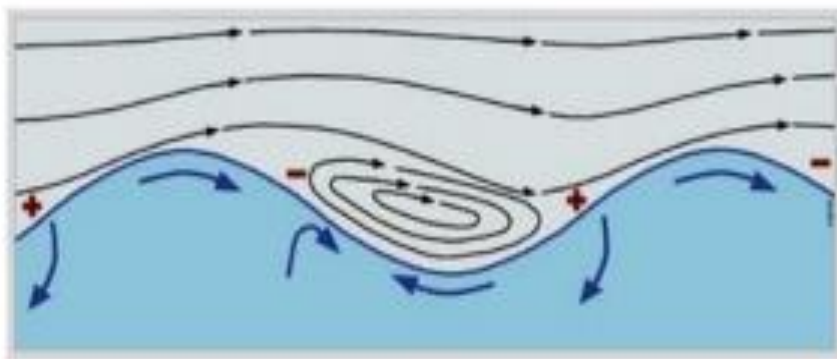


Figura 2.24– Processo de interação da atmosfera sobre a superfície do oceano (Fonte: Instituto Hidrográfico, 2015, Adaptado por Ferreira, 2016).

Segundo Ferreira (2016), da interação entre a atmosfera e o oceano surgem as ondas, nas quais se começam a desenvolver e a propagar à medida que o vento vai transferindo mais energia para a superfície do oceano. Quanto maior for a velocidade do vento, maior será a altura de ondas e mais tempo será necessário para atingir a estabilidade (Holthuijsen, 2007).

Com a contínua incidência do vento sobre as ondas, as deformações provocadas aumentam devido às pressões e depressões causadas, criando ondas cada vez maiores (o que se classifica como ondulação). Estas ondas são compostas por uma elevação acima da superfície em repouso da água, conhecida por crista, e por uma depressão situada abaixo da superfície, designada por cava (Ferreira, 2016)

Aquando da ocorrência de ondulação, as ondas continuam a propagar-se pela superfície, mesmo que o vento deixe de incidir sobre as mesmas. A ação entre a atmosfera e o mar, apesar de ser o mais comum, não é o único fator que contribui para a formação das ondas. As ondas também podem ser geradas por movimentos tectónicos ou desmoronamento de formações rochosas (Ferreira, 2016).

A caracterização da agitação marítima depende dos seguintes fatores (Ferreira, 2016):

- Da **velocidade do vento**, quanto maior for a sua intensidade (ou seja, quanto maior for a sua velocidade), maior será a altura das ondas que se formam;
- Da **duração da ação do vento**, quanto maior for o intervalo de tempo durante o qual o vento se mantém, maior será a energia transmitida para a superfície oceânica;
- Do **comprimento da massa de água** no qual o vento se faz sentir sem obstruções, quanto maior for esta distância (na terminologia inglesa designada por “*fetch*”), durante mais tempo as ondas continuam a receber energia do vento e, portanto, maior será o seu desenvolvimento no que respeita à altura atingida pela superfície;
- As ondas, ao aproximarem-se da zona de costa, deparam-se com a plataforma continental. Esta diminuição progressiva da profundidade provoca, em determinadas condições, uma maior altura de onda e uma diminuição do comprimento de onda. Quando a relação entre estas dois parâmetros atinge um valor limite, a onda torna-se instável e colapsa, provocando a dissipação da sua energia e induzindo correntes junto à linha costeira, causando um aumento momentâneo do nível médio da água.

Segundo Coelho (2005), os tipos de agitação marítima que apresentam maior influência no litoral podem ser classificadas em ondas, vagas, seichas e *tsunamis*:

- As **vagas** resultam dos efeitos dos ventos locais, originando um estado de agitação irregular, podendo coexistir com ondas provenientes de outros temporais. Este tipo de fenómeno apresenta um poder destrutivo instantâneo baixo;
- A agitação marítima denominada **seichas**, são ondas de oscilação de longo período, apresentando um maior poder destrutivo na costa e, no interior dos portos, devido a fenómenos de ressonância;
- Os ***tsunamis*** são ondas de translação, que por sua vez estão associados a fenómenos sísmicos, deslizamentos de terra, erupções vulcânicas ou impactos de meteoritos.

A nível nacional, a aquisição dos dados face á agitação marítima tem sido realizada pelo Instituto Hidrográfico (IH), através da monitorização *in situ*, com o auxílio de ondógrafos.

## 2.5. Ações Antropogénicas

Segundo a GTL (2014), as atividades antropogénicas são as principais responsáveis por induzir o recuo da linha de costa do litoral português na atualidade.

As atividades que modifiquem o regime hídrico, tais a regularização das linhas de água, as obras de proteção dos canais de navegação de acesso aos portos ou a extração de sedimentos nas bacias hidrográficas, vão ter consequências no balanço sedimentar induzindo a profundas implicações nas zonas costeiras (GTL, 2014 *cit. in* Cardona, 2015).

Neste capítulo serão abordados os aproveitamentos hidráulicos, nomeadamente as barragens, os quebra-mares e canais de navegação (portos), as obras de proteção de defesa costeira, as dragagens e extração de areias e a ocupação costeira.

### 2.5.1. Aproveitamentos hidráulicos

As barragens constituem uma mais-valia dado que proporcionam atividades como produção de energia, abastecimento agrícola e de populações, turismo e desportos náuticos, controle de cheias e criação de condições de navegabilidade (Silva, 2014).

Segundo Veloso-Gomes & Taveira-Pinto (1997), apesar da sua componente indispensável no fornecimento de energia, os aproveitamentos hidráulicos reduzem drasticamente o caudal sólido transportado para o mar. Em consequência, originam um elevado défice sedimentar na costa, sendo este uma das principais causas para a erosão costeira instalada em extensos trechos costeiros do continente.

A quantificação do transporte sedimentar é um fator de elevada importância para a compreensão dos fenómenos de erosão, bem como para a previsão da sua evolução ao longo das próximas décadas. A retenção dos sedimentos ocorre essencialmente da perda constante de capacidade de transportes dos sedimentos, por consequência da existência, em grande parte, dos aproveitamentos hidráulicos existentes nos rios (Oliveira, 1990).

O fornecimento de sedimentos às áreas litorais diminuiu drasticamente nos últimos 30 anos, onde inicialmente existiam fornecimentos na ordem dos  $9 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{ano}$  em regime natural transportados pelo rio Douro até à foz. Atualmente, estes valores são inferiores a  $2 \times 10^5 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$  (Silva *et al.*, 2012).

A implementação de barragens tem como influência direta o aumento da capacidade de armazenamento das bacias hidrográficas, as quais aumentou significativamente. Na bacia do Douro aumentou quase 5 vezes mais (de  $1\,689 \times 10^6 \text{ m}^3$  para  $8\,165 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), na bacia do Tejo aumentou 23 vezes mais (de  $573 \times 10^6 \text{ m}^3$  para  $13\,300 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) e na bacia do Guadiana aumentou quase 80 vezes (de  $56 \times 10^6 \text{ m}^3$  para  $4\,469 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) (Dias J. M., 2005).

Atualmente, a área com potencial para transportar sedimentos para o litoral português foi reduzida drasticamente, relativamente ao século passado, como se pode observar na seguinte figura (Figura 2.25) (Dias J. M., 2005)





Figura 2.25– Áreas hidrográficas drenantes para o litoral português afetadas e não afetadas por barragens (Fonte: Dias, 2005).

Segundo Dias (2005), a implementação de barragens também elimina/amortiza o efeito das cheias, onde, para o mesmo autor, uma parte significativa das areias que são transportadas para o litoral advêm deste fenómeno, em que quanto maior a cheia maior será o volume de sedimentos transportado. É assim evidente o quão as barragens condicionam a alimentação do litoral português e, por consequência, o quão responsáveis são pela erosão costeira.

### 2.5.2. Quebra-mares e canais de navegação

Os quebra-mares e os canais de navegação são essenciais à segurança e à operacionalidade da navegação marítima. A construção destes para a proteção dos canais de navegação são de elevada importância, embora alterem, também, drasticamente o transporte de sólidos no litoral.

Segundo Dias (1993), os quebra-mares apresentam fundamentalmente duas funções:

- Modificar as condições oceanográficas locais (tornando mais seguro a entrada para o porto e a própria zona portuária);
- Modificar as condições de dinâmica sedimentar (fixando os canais de navegação e minimizar o assoreamento).

Como tal, este tipo de estruturas perturbam a dinâmica intrínseca do litoral, uma vez que (Dias J.M., 1993):

- Induzem a fenómenos de difração, refração e reflexão de agitação marítima estranhos ao funcionamento a qual o sistema natural está habituado;

- Contribuem para uma maior retenção de sedimentos oriundos das bacias hidrográficas de montante;
- Perturbam fortemente a deriva litoral.

Este tipo de infraestruturas cria perturbações na circulação dos sedimentos a barlamar, induzindo um défice sedimentar nas praias a sotamar, onde, por consequência vai gerar fenómenos de erosão costeira e o recuo da linha de costa (Dias J. M., 1993).

A título de exemplo, aponta-se o caso do Porto de Aveiro no qual, após a construção dos seus molhes portuários na década de 50, estimou-se uma acumulação de aproximadamente de  $8 \times 10^5 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ . A sotamar dos molhes, desprovidos de alimentação sedimentar, verificou-se um elevado recuo da linha de costa, da ordem dos 8m/ano, e em alguns locais de 10m/ano (Oliveira *et al.*, 1982)

Aliado à retenção de sedimentos a barlamar das obras portuárias, há ainda a necessidade de intervenções periódicas de dragagens nos canais de navegação, o que retira volumes significativos de sedimentos, prejudicando o transporte sedimentar costeiro (Silva, 2014), muito embora hoje em dia já haja orientações para colocar esses dragados na deriva.

### 2.5.3. Obras de Proteção e defesa Costeira

Situações de frentes urbanas em áreas em que a erosão apresenta valores críticos, houve a necessidade da construção de obras de defesa pesada de emergência de forma a impedir o contínuo avanço do mar (Cardona, 2015). A Praia de Esmoriz é um ótimo exemplo, pois sem tais intervenções muito certamente já teria sido destruída na sua zona frontal (Figura 2.26). Embora estas obras sejam de enorme importância localmente, também apresentam impactes significativos na dinâmica do litoral.



Figura 2.26 – Obra longitudinal e esporões na Praia de Esmoriz (Fonte: SIARL, 2014).

Face aos impactes das obras de defesa costeira, podemos identificar dois grupos de impactes, os relacionados com as obras longitudinais (paralelas à costa) e os esporões (perpendiculares à costa).

Relativamente às obras longitudinais, os aspetos negativos a considerar dizem respeito ao efeito reflexivo da obra sobre a onda e que favorece a repulsa dos sedimentos que se



encontram junto à obra, mobilizando-os para o leito do mar. Em consequência, perde-se o efeito dissipativo da praia natural e amplia-se o efeito da onda tender a descarregar a sua energia sobre a própria obra, o que contribui para o acelerar da sua degradação (PROCIV, 2010). Na Figura 2.27 evidencia-se os efeitos da construção de uma obra longitudinal sobre a praia (PROCIV, 2010).

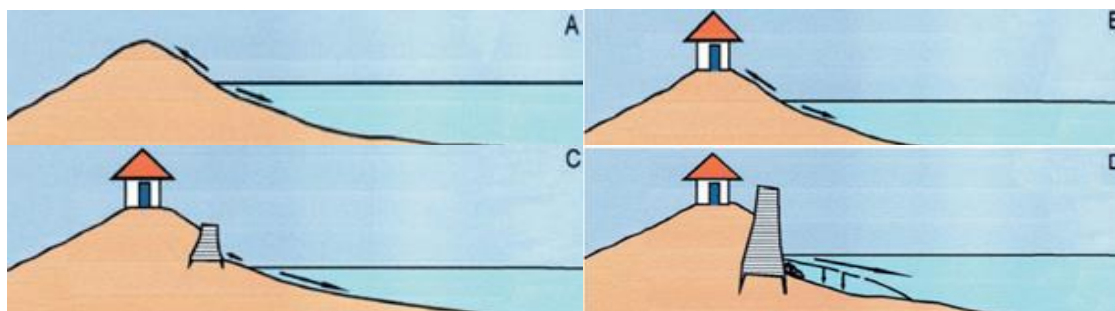


Figura 2.27- Efeitos de uma construção à beira-mar sobre a conservação da praia (Fonte: PROCIV, 2010).

Na situação A estamos perante uma praia em equilíbrio dinâmico, enquanto na situação B há a construção de um imóvel sobre a retaguarda da praia, na situação C há a construção de uma obra longitudinal de forma a proteger o imóvel contra as vagas de tempestade e, por fim, na situação D, o poder reflexivo das ondas obriga a um reforço constante da obra longitudinal. O declive da praia natural ajuda à auto dissipação da energia da onda e que o efeito reflexivo da obra impede que este se crie, ampliando assim a ação da energia da onda sobre a obra, o que aumenta em regra os seus custos de manutenção.

As obras de defesa perpendiculares à costa, apesar de serem bastante eficazes na defesa costeira a barlar da estrutura, apresentam problemas de erosão a sotamar (PROCIV, 2010). Face ao transporte de sedimentos dominante de barlar para sotamar e que na costa ocidental de Portugal é de norte para sul, a tendência destas obras é de fixar sedimentos a norte. No entanto como os sedimentos são impedidos de se mobilizarem imediatamente para sul pela própria obra, cria-se assim um déficit sedimentar imediatamente a sul e que justifica o intenso recuo que geralmente aí ocorre neste tipo de costa. A outra fragilidade deste tipo de obras é quando se instalam tempestades de sudoeste e que inverte correntes e a própria deriva e para as quais a maioria das obras não estão dimensionadas para tal.

Nestas situações também há a formação de correntes de retorno, as quais emagrecem a praia e enfraquecem a base do cordão dunar longitudinal. Assim o embate incidente das ondas sob o esporão provoca duas formas essenciais de erosão na praia e na duna frontal, como se pode observar na figura seguinte (Figura 2.28) (PROCIV, 2010).

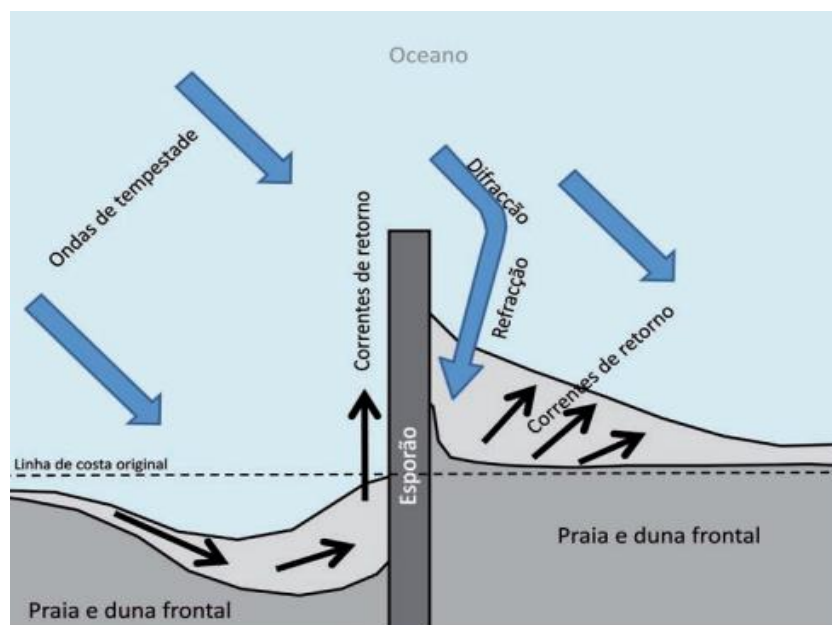


Figura 2.28— Comportamento da linha de costa face a uma situação de tempestade de inverno com *storm surge* com a presença de um esporão transversal (Fonte: PROCIV, 2010).

#### 2.5.4. Dragagens e extração de sedimentos

Segundo a CEPEMAR (2010), a dragagem consiste em escavações subaquáticas e na retirada de sedimentos e pedras, utilizadas normalmente para o alargamento de canais, portos e baías, possibilitando a navegabilidade segura dos navios. Em outros casos são utilizadas para a remediação, nomeadamente da recuperação de áreas com sedimentos ocupados. Para Dias (1993), as zonas dragadas ficam em desequilíbrio dinâmico, nas quais apresentam tendências a serem assoreadas a curto ou médio prazo, obrigando à realização de novas operações de dragagem. Por norma, quando a área dragada é localizada na parte externa de um estuário, estas são colmatadas por areias provenientes da deriva do litoral. Para o mesmo autor, as dragagens diminuem a transferência de areias para o litoral, inibindo o abastecimento sedimentar que atinge o litoral.

Segundo Dias (2005) e Oliveira *et al.*, (1982), as dragagens realizadas apresentaram bastantes falhas nos seus planeamentos, nomeadamente no rio Douro, o qual foram retirados até 1990  $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  de areia.

As dragagens efetuadas desde o início do Século XX tinham geralmente dois objetivos, dar condições de navegabilidade ou hidráulicas a planos e linhas de água e enquanto matéria-prima de apoio à construção civil. Embora, desde meados do século passado, vários especialistas alertavam para o efeito pernicioso da retirada sedimentos do ciclo sedimentar natural tinham no litoral, no qual, só muito recentemente, é que tais práticas foram sendo corrigidas e que a Lei n.º 49/2006, de 29 de Agosto evidencia bem. Embora já existam casos de recurso a alimentação artificial de algumas obras e de forma mais sistematizada no Algarve durante a última década, é com o Relatório do GTL (2014) que a aposta na alimentação artificial assume-se como uma diretriz nacional a privilegiar. O Grupo de Trabalho dos

Sedimentos é criado precisamente para criar as condições para se definirem os trabalhos e metodologias para darem corpo ao proposto pelo GTL.

### 2.5.5. Ocupação costeira

A ocupação costeira do litoral trata-se de um problema evidenciado à escala mundial. Segundo a Wolanski (2015), mais de 60% da população mundial vive nas proximidades das zonas costeiras, nas quais criam pressões associadas à construção de casas, linhas rodoviárias e ferroviárias, indústrias, entre outras atividades. Como referido anteriormente e observável na Figura 2.29, uma vasta parte da população portuguesa vive no litoral continental, na qual está situada a maior parte do PIB nacional.

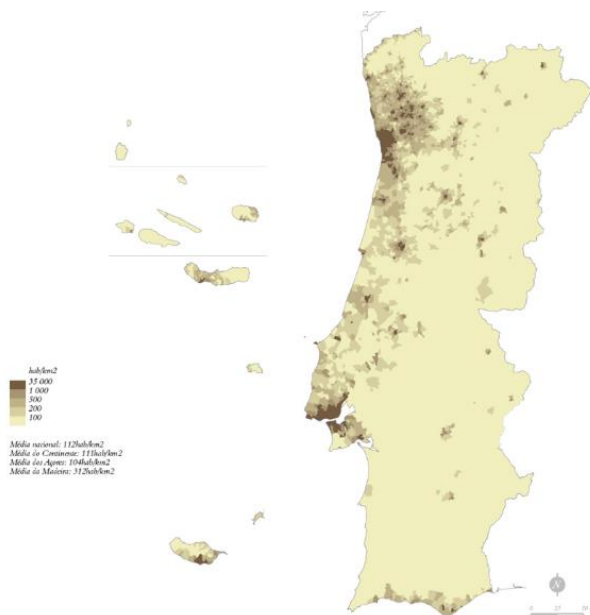


Figura 2.29– Densidade Populacional de Portugal (Fonte: Censos, 2011).

Com base nos dados do INE (2011), a área dos concelhos que apresentam fronteira com o oceano Atlântico correspondem a menos de 20%, mas, no entanto, 80% da população habita nestas áreas. Outro fator importante na ocupação do litoral português é o crescimento turístico evidenciado neste, no qual entre 2010 e 2015, subiu de 2,6% para 4,3% (INE, 2016).

Como referido anteriormente, na caracterização do litoral português, é de elevada importância a existência de uma gestão integrada das zonas costeiras, sendo que esta deve ser um processo contínuo e dinâmico em que as suas decisões promovam um desenvolvimento sustentável com base no conhecimento científico.

As intensificações da utilização das zonas costeiras, muitas vezes, de forma desordenada e em simultâneo com o desenvolvimento de várias intervenções nas bacias hidrográficas e no litoral, traduzem-se na diminuição do abastecimento sedimentar e por consequentes fenómenos de erosão costeira (Dias, J. M. 2005).

## 2.6. Alterações Climáticas

“A ideia de que a Terra é tão grande que os seres humanos não podem ter qualquer impacto relevante na forma como o sistema ecológico do planeta funciona, está completamente errada. Tornamo-nos tão numerosos e a nossa tecnologia é tão poderosa que hoje somos capazes de exercer uma influência significativa em muitas facetas do ambiente da Terra. As alterações climáticas constituem um exemplo muito sério do efeito da actividade humana no equilíbrio do planeta Terra.”  
Borrego *et al.*, (2010).

Segundo o IPCC (2007), as alterações climáticas podem ser definidas como sendo uma alteração no estado do clima que pode ser identificado (por exemplo utilizando testes estatísticos). Estas referem-se a qualquer alteração nos processos naturais internos, a variações radioativas externas, a ações antropogénicas persistentes na composição da atmosfera e nas alterações do uso do solo. Estas alterações podem persistir durante um período extenso de tempo, tipicamente décadas ou mais. (IPCC, 2007; *cit. in* Ferreira, 2016).

Estas variações no comportamento climático, anteriormente enunciadas, apresentam um conjunto de impactos significativos nas zonas costeiras. Losada *et al.*, (2014), em “*Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*” descreveu os impactos mais significativos das alterações climáticas, face às zonas costeiras::

- **Subida do nível do mar:** aumento dos acontecimentos de inundações costeiras, galgamentos e inundação de áreas baixas. Entradas de cunhas salinas e salinização de aquíferos e perda de zonas húmidas.
- **Aumento da frequência e intensidade de acontecimentos extremos (tempestades):** agravamento dos fenómenos de sobrelevação meteorológica, bem como as ondas de tempestade e marés astronómicas, originando, por consequente, galgamentos e inundações costeiras. Similarmente à subida do nível do mar, também pode ocorrer a entrada de cunhas salinas nos aquíferos costeiros.
- **Ventos:** aumento dos acontecimentos de sobrelevação e intensificação das correntes marítimas.
- **Ondas:** Anatomicamente interligado com as alterações anteriores, as quais induzem erosão costeira, galgamentos e inundações das zonas costeiras.

A atividade humana, segundo Houghton (2011), influencia as alterações climáticas através da sua indução na alteração da composição atmosférica. Os gases libertados das atividades antropogénicas como a indústria, os transportes e a agricultura, bem como as alterações no

uso do solo, nomeadamente a desflorestação ou produção de culturas, alteram o albedo da superfície terrestre, induzindo alterações no sistema climático desta.

A acumulação de dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), originada da queima dos combustíveis fósseis como o carvão, petróleo e gás natural, em paralelo com a desflorestação, tem crescido significativamente nos últimos 200 anos. De referir, que a acumulação de CO<sub>2</sub> após o início da revolução industrial marca o ponto de partida para a taxa crescente e acentuada da mesma. Na década de 70, esta passou a ter uma taxa de crescimento bastante mais significativa, como entende da análise da Figura 2.30 (IPCC, 2014).

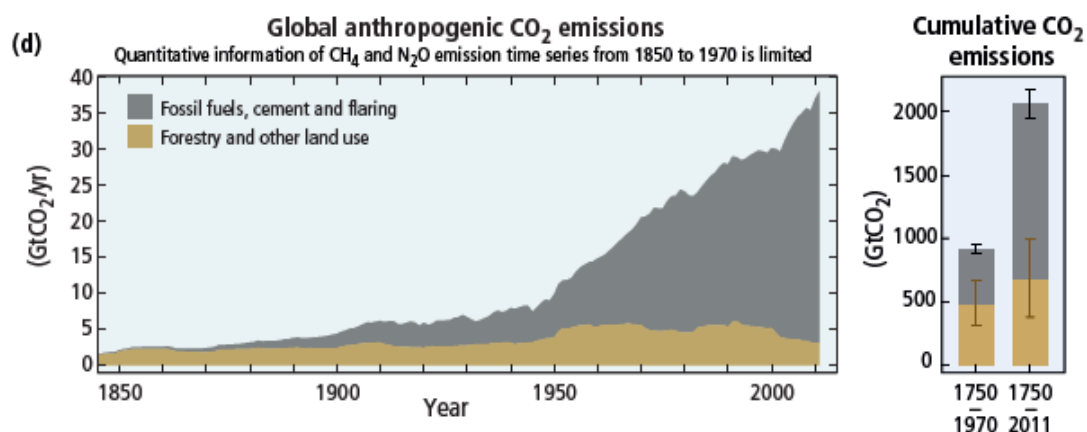


Figura 2.30– Emissões de dióxido de carbono entre os anos de 1850 e 2000 (Fonte: IPCC, 2014).

“Anualmente, são adicionadas ao carbono já presente na atmosfera mais de 8 000 milhões de toneladas deste composto” (IPCC, 2014). A duração do dióxido de carbono é outra característica importante de salientar, apesar de não existir um consenso em relação à duração do CO<sub>2</sub> na atmosfera, a maioria dos estudos aponta para uma durabilidade na ordem dos 100 anos (Ventura, 2012).

Como se pode observar na Figura 2.31, entre 1970 a 2000 houve um aumento da taxa da emissão de gases com efeito de estufa de 1,3%, enquanto entre 2000 a 2010 essa taxa aumentou para 2,2%.

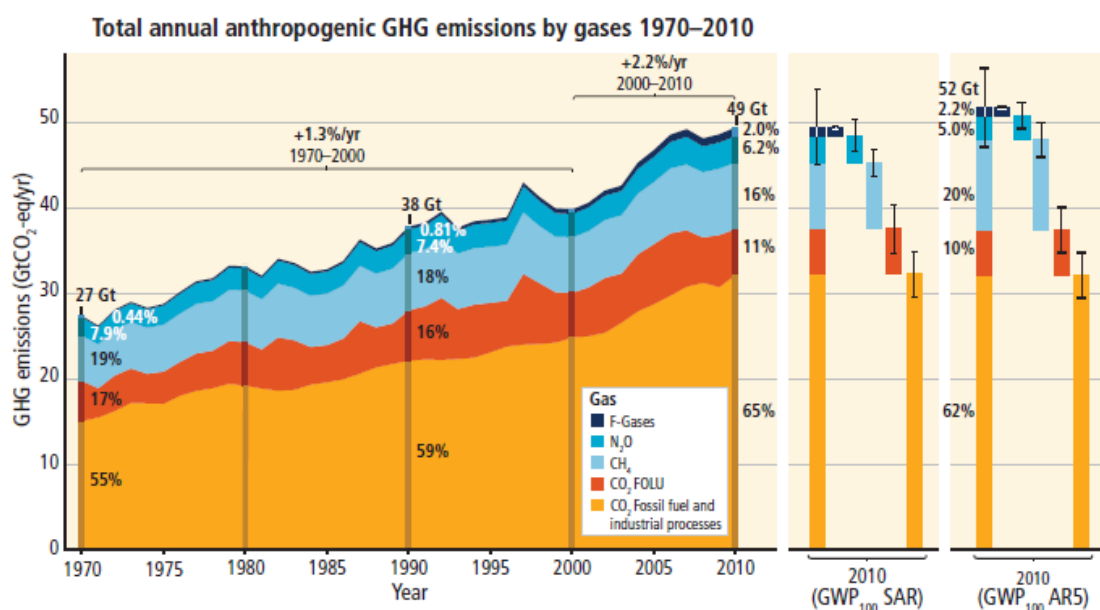


Figura 2.31 – Variações na taxa de crescimento das emissões de gases de efeito de estufa entre 190 a 2010 (Fonte: IPCC, 2014).

O aumento contínuo da emissão de gases de efeito de estufa provoca o aumento da temperatura global o que, por consequente aumenta o nível médio do mar (IPCC, 2014) (Figura 2.32).

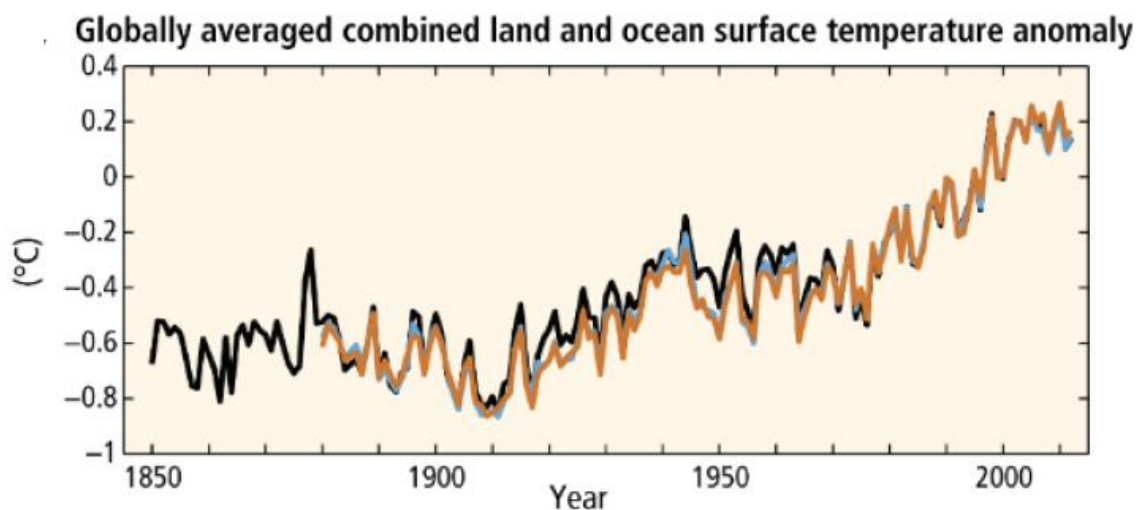


Figura 2.32 – Taxa crescente da temperatura média global da superfície terrestre e da superfície dos oceanos (Fonte: IPCC; 2014).

Como se pode perceber da análise da figura anterior (Figura 2.32), verifica-se que há uma tendência crescente da temperatura média global, tanto para a temperatura da superfície terrestre como da temperatura da superfície dos oceanos.

O aumento da temperatura média global da superfície dos oceanos apresenta bastantes impactes significativos, nomeadamente na redução das calotes polares e massas de gelo o que, por consequente, irá induzir um aumento do nível médio do mar, como referido

anteriormente. Na Figura 2.33 analisa-se a proporcionalidade inversa entre a redução das calotes polares e o aumento do nível médio do mar, entre o período de 1900 a 2000 (IPCC, 2014).

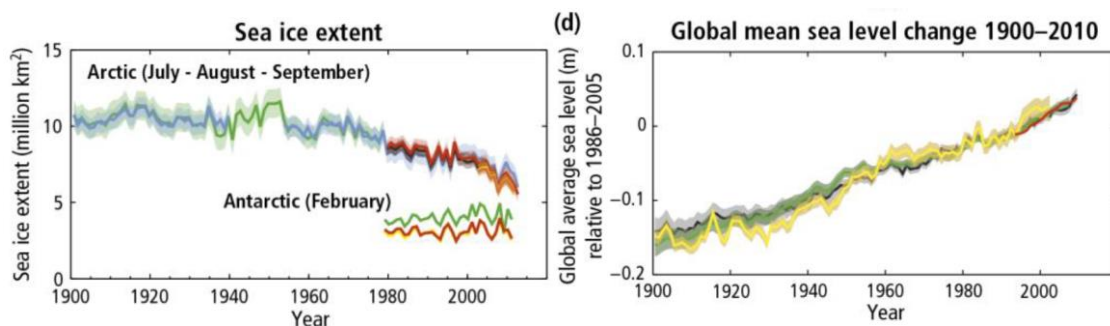


Figura 2.33— Gráfico da esquerda: área ocupada por gelo marinho (glaciares, calotas polares, etc.) (entre 1900 a 2000); Gráfico da direita: Alteração global do nível médio do mar desde 1900 até 2010 (Fonte: IPCC, 2014).

Por outras palavras, quanto maior a temperatura terrestre e dos oceanos, maior vai ser a redução presente das calotes polares e das várias massas de gelo, aumentando o nível médio do mar. Este aumento, como explicado anteriormente, apresenta impactes bastante significativos nas zonas costeiras.

## 2.7. O Litoral Na Legislação Portuguesa

Segundo o Programa Ambiente das Nações Unidas (2002), as áreas litorais são locais que apresentam uma elevada concentração populacional. Face riqueza natural e à intensa ocupação de que é objeto, estas são classificadas como áreas vulneráveis, na qual a sua sustentabilidade e proteção são um desafio evidenciado a nível mundial.

Dada a importância estratégica do litoral, tornou-se necessário desenvolver legislação de forma a minimizar conflitos e, por consequente, promover um desenvolvimento sustentável e integrado do litoral português. Na Tabela 1, estão representados os principais documentos legislativos que dizem respeito ao litoral português e que serviram de referência na presente dissertação. Posterior e pormenorizadamente, serão analisadas os diplomas mais relacionados com a gestão e proteção do litoral.

Tabela 1 – Legislação fundamental considerada para a elaboração da presente dissertação

| <b>Legislação</b>  | <b>Descrição</b>   |
|--|--|
| Decreto-Lei nº 468/71, de 5 de Novembro, revisto pela Lei 16/2003 - Regime Jurídico do Domínio Público Marítimo (revogado)                               | “Estabelece o regime jurídico dos terrenos do domínio público hídrico. Entende-se por margem uma faixa de terreno contíguo ou sobranceira à linha que limita o leito das águas, estatuiendo-se que a margem das águas do mar tem a largura de 50m ou, quando tiver natureza de praia, ainda que em extensão superior, a margem se estenderá até onde o terreno apresentar tal natureza”. Embora revogado, foi uma legislação inovadora e que introduz conceitos, como servidão e zonas adjacentes às águas, com o intuito de travar a ocupação de zonas de risco no litoral português mas nunca implementado neste aspeto. |
| Decreto-Lei nº 321/83, de 5 de Julho, revogado pelo DL n.º166\2008 – Reserva Ecológica Nacional (REN)  | Integra a possibilidade da “exploração dos recursos e a utilização do território com salvaguarda de determinadas funções e potencialidades, de que dependem o equilíbrio ecológico e a estrutura biofísica das regiões, bem como a permanência de muitos dos seus valores económicos, sociais e culturais”.  |
| Decreto-Lei nº 302/90, de 26 de Setembro – Carta Europeia do Litoral   | Este diploma apresenta como objetivo “conciliar as exigências do desenvolvimento com os imperativos da proteção” e avança com os princípios da que deve obedecer a ocupação do litoral.  |
| Decreto-Lei n.º 201/92   | Definição de competências na faixa costeira, entre a Direcção-Geral de Portos, as administrações portuárias e as juntas autónomas em relação à Direcção-Geral dos Recursos Hídricos e que transfere as competências do litoral, salvo áreas de interesse portuário, para os serviços do Ministério do Ambiente.  |
| Resolução do Conselho de Ministros nº 86/2003, de 25 de Junho  | Este diploma refere-se ao Plano de Orla Costeira (POOC) Sintra - Sado, abrangendo uma extensão total de 120 km de costa, em que se restringe e interdita a construção em arribas e faixas de risco, interdita-se a rega intensiva, a destruição do coberto vegetal.  |
| DL 309/93 de 2 de Setembro   | Regulamenta a elaboração e a aprovação dos planos de ordenamento da orla costeira.   |
| Recomendação do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de Maio de 2002 relativa à execução da gestão integrada da zona costeira na Europa (2002/423/CE): | Define os princípios gerais e as opções para uma Estratégia de Gestão Integrada de Zonas Costeiras na Europa.  |
| Lei n.º 54/2005 de 15Nov e Lei 58/2005 de 29 de Dez  | Aprovam a Lei da Água e a Lei da Titularidade do Domínio Hídrico que estabelecem as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas tal como preconizado pela Diretiva Água e,  |



| <b>Legislação</b>  | <b>Descrição</b>   |
|--|--|
|  | juntamente com a Lei 54/2005, substitui O Decreto-Lei n.º468/71.   |
| Resolução do Conselho de Ministros nº 163/2006, de 12 de Dezembro                        | Este diploma diz respeito à Estratégia Nacional para o Mar 2006-2016 (ENM). Esta estratégia promove a conservação, salvaguarda e correta utilização do mar e dos recursos costeiros em Portugal.   |
| Resolução do Conselho de Ministros n.º82/2009:   | Aprovação a Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira.  |
| Lei nº 31/2014, de 30 de maio  | Define as áreas territoriais de intervenção dos POOC, com "...uma largura de 500m na zona terrestre, podendo ir a 1000 m, quando tal seja justificado pela necessidade de proteção de sistemas biofísicos costeiros, e uma faixa marítima até à batimétrica dos 30m, incluindo as áreas sob jurisdição portuária"<br>Estipula que os POOC deixam de ser Planos e passam a Programas (POC), instituindo a figura de Regime de Salvaguarda   |
| Lei n.º19/2014, de 14 de abril   | Define as bases da política de ambiente.   |
| Resolução do Conselho de Ministros nº 12/2014 – Estratégia Nacional para o Mar 2013/2020 | Este diploma vem revogar a Estratégia Nacional para o Mar 2006/2016, pois terá sido sentida uma forte necessidade de revisão e atualização de acordo como o novo quadro de Comissão Europeia   |
| Despacho n.º 6574/2014:  | Determinação da criação de um Grupo de Trabalho do Litoral com o objetivo de se desenvolver uma reflexão aprofundada das zonas costeiras, que conduzam à definição de medidas que permitam no médio prazo alterar a exposição ao risco, incluindo o desenvolvimento sustentável em cenários de alterações climáticas.  |
| Decreto-Lei n.º38/2015: desenvolve a Lei n.º17/2014                                      | Estabelece as Bases da Política de Ordenamento e de Gestão do Espaço Marítimo Nacional. Um dos objetivos é a promoção da exploração económica sustentável, racional e eficiente dos recursos marinhos e dos serviços dos ecossistemas, assegurando a preservação, proteção e recuperação dos valores naturais e ecossistemas costeiros e bom estado das águas costeiras e de transição, prevenindo os riscos da ação humana e minimização dos efeitos de catástrofes naturais e das alterações climáticas. |

### **2.7.1. Programa de Ordenamento da Orla Costeira**

Os Planos de Ordenamento da Orla Costeiras (POOC) foram introduzidos pelo Decreto-Lei n.º 309/93, 2 de Setembro, que referia que os POOC “são planos sectoriais que definem os condicionamentos, vocações e usos dominantes e a localização de infraestruturas de apoio a esses usos e orientam o desenvolvimento das actividades conexas”.

A Lei 231/2004 acaba com a figura dos POOC enquanto planos e que vinculavam entidades públicas e privadas, para passar à figura de Programa de Orla Costeira (POC) e que já não têm a capacidade para vincular diretamente os privados, mas apenas quando transpostos para os respetivos Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT). Os POC visam a gestão e valorização dos recursos presentes no litoral, procurando garantir a proteção e integridade biofísica do espaço litoral, através da valorização dos recursos existentes, bem como a sua conservação (APA, 2017).

Os POC definem os regimes de salvaguarda, proteção e gestão estabelecendo usos preferenciais, condicionados e interditos na área de intervenção, bem a articulação e compatibilização na respetiva área de intervenção através de regimes e medidas noutros

instrumentos de gestão territorial e de planeamento das águas (APA, 2017). Com os atuais POC deixa de existir a descontinuidade que os POOC tinham nas áreas portuárias.

Atualmente todo o litoral continental está coberto por estas figuras de planeamento sendo que estão em vigor oito dos nove POOC, uma vez que o POC Ovar Marinha Grande já foi aprovado de acordo com a LBOTSU. Os POOC ainda em vigor são: Caminha-Espinho, Alcobaça-Mafra, Cidadela-S.Julião da Barra, Sintra-Sado. Sado-Sines, Sines-Burgau, Burgau-Vilamoura e Vilamoura-Vila Real de Santo António, como esquematizado na Figura 2.34.

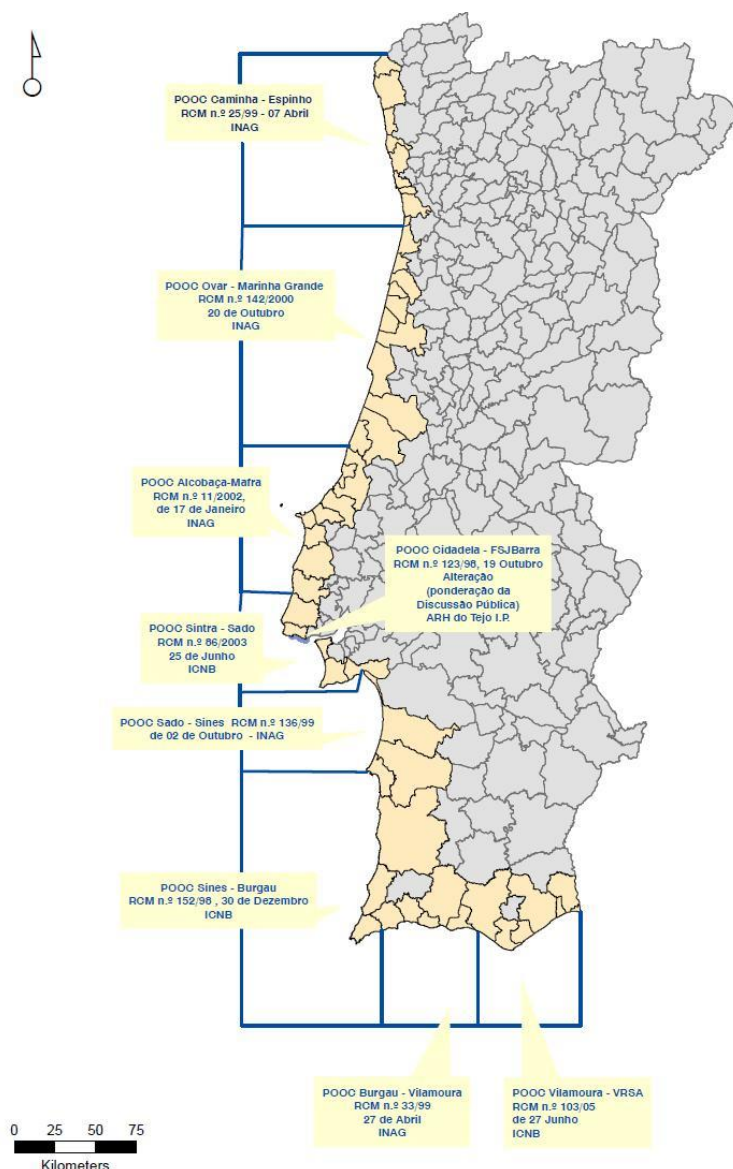


Figura 2.34 – POC em vigor em Portugal Continental (Fonte: APA, 2017).

### **2.7.2. Estratégia Nacional de Gestão Integrada das Zonas Costeiras**

“As zonas costeiras assumem uma importância estratégica em termos ambientais, económicos, sociais, culturais e recreativos, pelo que o aproveitamento das suas potencialidades e a resolução dos seus problemas têm grande relevo no âmbito de uma política de desenvolvimento sustentável apoiada numa gestão integrada e coordenada dessas áreas”. (ENGIZC, 2009)

A Estratégia Nacional da Gestão Integrada das Zonas Costeiras (ENGIZC) é introduzida pela Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº 82/2009, 8 de Setembro. Esta apresenta como objetivo a criação de uma visão estratégica para a orla costeira, promovendo a sua proteção ambiental e valorização paisagística.

A ENGIZC estabelece-se como um referencial estratégico de enquadramento legal da zona costeira, garantido as condições de sustentabilidade necessárias para o seu desenvolvimento, bem como a adequada articulação e coordenação das políticas e dos instrumentos que asseguram o desenvolvimento sustentável desta.

A estratégia tem um período de vigência de 20 anos, na qual a sua avaliação periódica é determinante para que a visão proposta para 2029 seja alcançada. Tendo em conta a visão da gestão integrada das zonas costeiras, foram definidos objetivos de carácter temático e transversal (ENGIZC, 2009):

#### **Objetivos temáticos:**

- Conservar e valorizar os recursos e o património natural, paisagístico e cultural;
- Antecipar, prevenir e gerir situações de risco e de impactos de natureza ambiental, social e económica;
- Promover o desenvolvimento sustentável de atividades geradoras de riqueza e que contribuam para a valorização de recursos específicos da zona costeira;
- Aprofundar o conhecimento científico sobre os sistemas, os ecossistemas e as paisagens costeiras.

#### **Objetivos transversais:**

- Desenvolver a cooperação internacional;
- Reforçar e promover a articulação institucional e a coordenação de políticas e instrumentos;
- Desenvolver mecanismos e redes de monitorização e observação;
- Promover a informação e a participação pública;
- Conservar e valorizar os recursos e o património natural, paisagístico e cultural.

## 2.8. Gestão Do Risco E Estratégias De Adaptação Costeira

O litoral português apresenta um elevado nível de vulnerabilidade e risco no qual, segundo Ferreira (2016), apresenta evidentes fragilidades face aos impactos das alterações climáticas. A Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA) é a entidade que tem incumbências na implementação da ENGIZC e em promover os POC. Segundo a APA (2012), a gestão do risco deve estruturar-se em quatro níveis:

- **Remoção do risco:** através da remoção/anulação do perigo ou através da realocização das potenciais vítimas e bens;
- **Redução do risco:** redução da probabilidade de acontecimento do risco;
- Desenvolvimento de **planos de contingência** em acontecimentos de difícil previsão e de incerteza no planeamento que permitam diversos tipos de resposta face a ocorrências futuras;
- **Aceitação do risco** - situações em que o risco pode ser considerado aceitável porque:  
a) é pouco provável que ocorra; b) o seu impacto é baixo; c) a combinação do impacto e probabilidade é aceitavelmente baixa; ou d) a análise custo/benefício demonstra que é mais vantajoso aceitar o risco

Face ao risco costeiro instalado no litoral português, o GTL (2014) recomenda que nas estratégias de adaptação costeira sejam consideradas as suas três vertentes de intervenção - proteção, acomodação e realocização - e dentro da defesa, privilegiar a alimentação artificial e o restabelecimento da ciclo sedimentar.

Segundo Ferreira (2016), a adaptação costeira deve ser considerada uma estratégia para a redução dos riscos aos quais a costa portuguesa está sujeita. As estratégias de adaptação, se consideradas na gestão costeira, aumentarão a resiliência das zonas costeiras face aos impactes das alterações climáticas, nomeadamente a subida do NMM e de outros impactes associados (Hinkel *et al.*, 2013).

As estratégias de gestão costeira compreendem diversas opções de adaptação, nomeadamente de proteção, acomodação e realocização (ou recuo planeado), como se pode observar na Figura 2.35 (GTL, 2014)

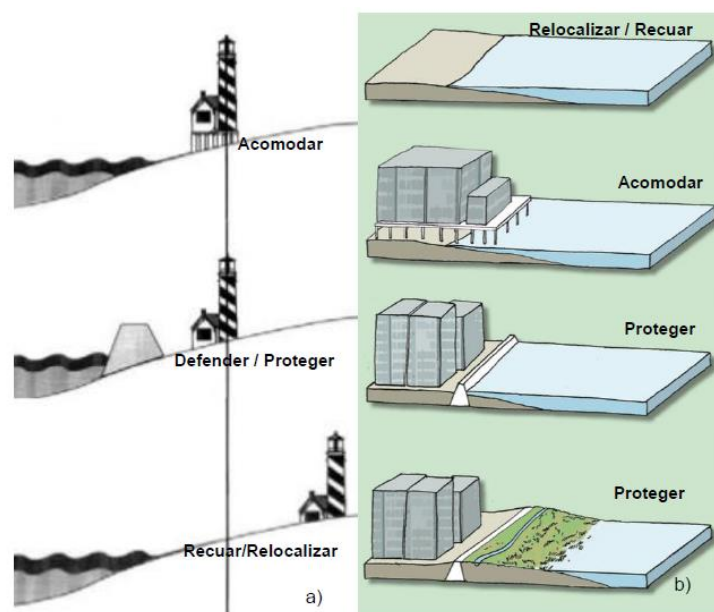


Figura 2.35- As componentes das estratégias de adaptação: proteção, acomodação e realocização (Fonte: Adaptado por Ferreira, 2016: a) New Jersey Association for Floodplain Management (New Jersey Future); b) Emily Underwood / San Francisco Public Press).

As opções de proteção/defesa são utilizadas para a proteção de pessoas e de bens, mantendo ou avançando a linha de costa através do uso de obras pesadas ou leves. Este tipo de intervenções podem ser a alimentação artificial com sedimentos, a reconstrução de sistemas dunares e a construção ou reforço de estruturas rígidas tais como esporões, quebra-mares destacados e obras longitudinais aderentes (GTL, 2014; Coelho, 2005).

A acomodação consiste no ajustamento dos usos e atividades humanas ao risco de erosão e inundação. A realocização ou recuo é a deslocação das pessoas e bens para zonas com uma menor vulnerabilidade à influência marítima, por norma, mais para o interior do continente. Esta última medida apenas é aplicada quando as outras estratégias de adaptação são inviáveis (GTL, 2014). Na Tabela 2, pode-se observar os diferentes tipos de estratégia face à sua tipologia e nível.

Tabela 2 – Medidas leves e pesadas de adaptação costeira (Adaptado do GTL (2014), EEA (2013), Silva (2014), Gortnitz (2013), Nicholls (2011), Linham *et al.*, (2010) e French (2001).

|                         | Proteção  | Acomodação  | Relocalização                                      |
|-------------------------|---|---|--|
| <b>Tipologia Leve</b>   | Alimentação artificial, construção de dunas, recuperação ou criação de zonas húmidas (sumidouros) | Novos códigos de construção baseadas em estruturas ligeiras e sazonais, culturas agrícolas tolerantes ao sal ou às inundações, alertas de risco e evacuação, seguros baseados no risco. | Restrições no uso do solo, criação de zonas tampão |
| <b>Tipologia Pesada</b> | Diques, paredões, esporões, quebra-mares, barreiras contra a intrusão salina                      | Construção em estacas, adaptação dos sistemas de drenagem, abrigos de emergência para cheia   | Relocalização de edifícios ameaçados               |

As opções estruturais nas estratégias de proteção costeira podem ser categorizadas em opções estruturais (infraestruturas cinzentas e verdes) e não estruturais (planeamento, gestão e ordenamento) (EU, 2009; EU, 2013 *cit. in* Ferreira, 2016):

- a) **Infraestruturas cinzentas:** são as intervenções “pesadas” e de engenharia na zona costeira que visam reduzir o impacto directo das alterações climáticas devido à subida do nível do mar, minimizando as suas consequências.
- b) **Infraestruturas verdes:** são intervenções “leves” que apresentam como fundamento as funções e serviços dos ecossistemas, apresentando como base “adaptar soluções de base ecológica, trabalhando com a natureza, procurando soluções, mais facilmente implementáveis e de melhor custo eficácia” Ferreira (2016).
- c) **Opções não estruturais:** estas opções consistem na adoção de políticas e de estratégias que contribuam para um ordenamento costeiro que promova a redução da vulnerabilidade e de comportamentos de risco e integração da adaptação nos processos de planeamento e de gestão territorial.

### 2.8.1. Tipos de intervenção de proteção das zonas costeiras

#### **Obras de proteção e manutenção da posição da “linha de costa”**

Este tipo de intervenções, segundo Cardona (2015), apresentam como função a defesa de um troço costeiro no qual a situação de erosão apresenta níveis críticos.

Segundo Coelho (2005) as estratégias de defesa apresentam um variado leque de tipos de intervenções e cada uma delas apresenta uma função específica na proteção costeira. Segundo o mesmo autor, as obras pesadas podem estar dispostas paralelamente à costa, nomeadamente defesas aderentes, muros e quebra-mares destacados ou perpendiculares à mesma, como os esporões, molhes ou quebra-mares. Estas obras favorecem a acumulação de sedimentos de forma a ajudar à dissipação da energia ou elas próprias estarem dimensionadas para sustentar ação direta da agitação marítima.

#### *Estruturas paralelas à costa*

As estruturas paralelas à zona costeira podem ser diferenciadas em muros, obras longitudinais e quebra-mares destacados. Na Figura 2.36 encontram-se representados esquematicamente as estruturas paralelas à costa (Coelho, 2005).

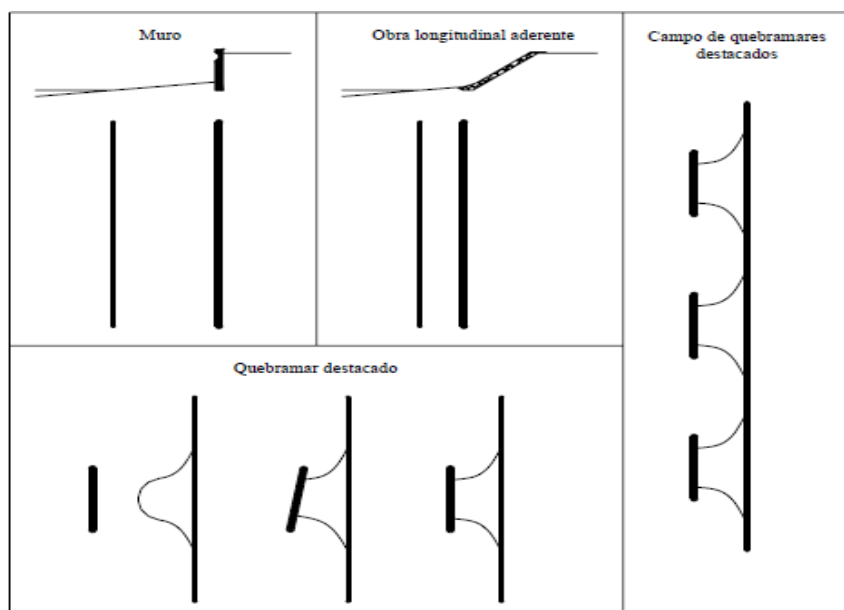


Figura 2.36– Esquema das estruturas paralelas à costa (Fonte: Coelho, 2005).

Os **muros** (ou paredões de retenção) são estruturas implantadas em zonas terrestres que apresentam como principal objetivo impedir o galgamento do mar em decorrência da ação de grandes ondas e marés de tempestades. Usualmente, estas infraestruturas são construídas para a proteção de terraplenos marginais, arruamentos, frentes urbanas edificadas e parques de estacionamento. Por norma, são utilizados materiais como madeira e rocha, embora em alguns casos também seja utilizado betão (Coelho, 2005; Sousa, 2011).

Segundo Coelho (2005), em muitos casos estas estruturas foram construídas em faixas no qual existia uma restinga de areia, mas devido ao contínuo avanço do mar, os muros ficaram expostos à ação direta das ondas. Como já referido, como os muros são uma estrutura predominantemente vertical, estes não favorecem a estabilidade do areal devido à reflexão das ondas. A fundação dos muros, para ser ideal, deve atingir uma cota baixa, de preferência o estrato rochoso quando exista e de forma a evitar subescavações.

Similarmente aos muros, as **obras longitudinais aderentes** (Figura 2.37) são uma solução comum na proteção do litoral português. Estas, como referidas anteriormente, são construídas paralelamente à costa, as quais pretendem fixar o limite da praia em zonas não protegidas por praia natural, ou em áreas que se pretende manter a posição da linha de costa (Lima, 2011).

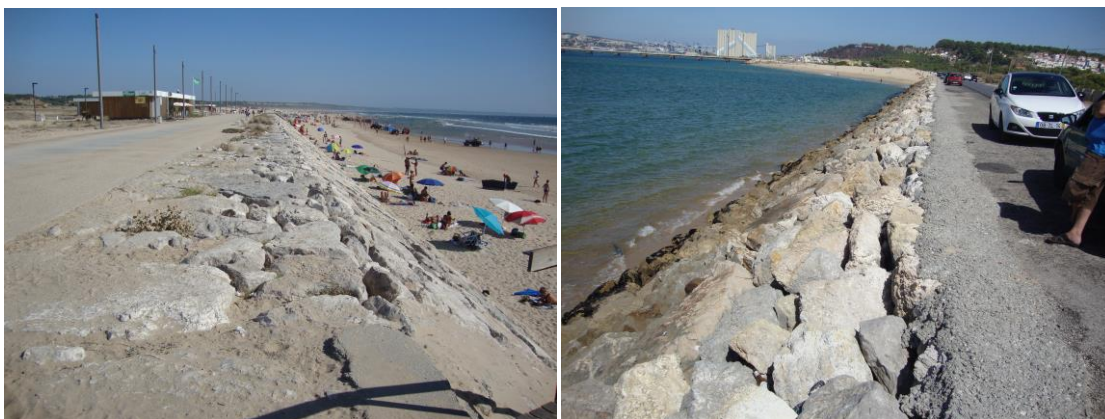


Figura 2.37 – Obras longitudinais aderentes, exemplo da Costa da Caparica e da Cova do Vapor (Fonte: Fotografias Obtidas a Agosto de 2017).

O seu funcionamento consiste numa solução estrutural em que a rocha ou o betão é colocado ao longo da face de uma duna ou de um talude inclinado, reduzindo a ação das ondas através da absorção da sua energia nas faces e nos espaços vazios da obra, como se pode observar na Figura 2.38 (Lima, 2011).

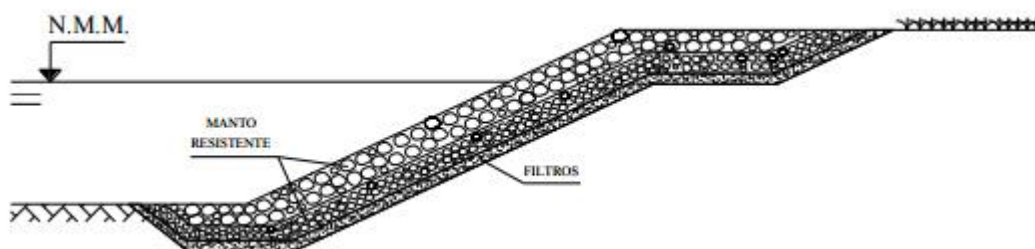


Figura 2.38– Perfil das obras longitudinais aderentes (Fonte: Fleming *et al.*, 1998 *cit. in* Lima, 2011).

Segundo Castanho (1962), as obras longitudinais devem apresentar o mesmo comprimento da zona que se pretende proteger, uma vez que esta apenas protege localmente. Face à sua altura, esta deve ser de modo a evitar possíveis galgamentos e pesando os fatores económicos.

Os **quebra-mares destacados** são estruturas que, tal como as defesas aderentes, são construídas de forma a combater a ação direta do mar, dissipando a energia das ondas. Estes são colocados paralelamente à linha de costa, embora em pleno leito do mar, o que significa profundidades maiores que as restantes estruturas de defesa costeira (Coelho, 2005; Alfredini, 2005).

A principal função deste tipo de estruturas consiste na redução da ação das ondas, através de fenómenos de difração, fazendo com que atinjam a zona de costa com uma intensidade mais baixa. Assim, similarmente aos esporões, os quebra-mares apresentam a capacidade de interferir na distribuição dos sedimentos ao longo da costa, diminuindo a capacidade erosiva das ondas e consequente capacidade de transporte, permitindo o acumular de sedimentos na zona abrigada da estrutura, formando em consequência um tómbolo, como se pode observar na Figura 2.39. Por norma, estas infraestruturas são constituídas por enrocamentos, embora



possam ser utilizados blocos de betão, bem como estacas metálicas ou de madeira (Lima, 2011; Coelho, 2005; Sousa, 2011).

Os quebra-mares destacados podem ser colocados individualmente ou em conjunto, formando um campo de quebra-mares destacados (Figura 2.39). O seu comprimento e distância entre si dependem, essencialmente, da sua distância à linha da costa (Coelho, 2005).

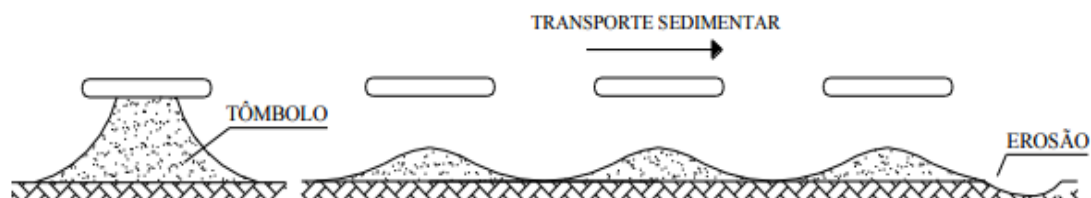


Figura 2.39- Formação de tômbolo devido à colocação de um quebra-mar destacado e o comportamento erosivo do mar face a um conjunto de quebra-mares (Fonte: Basco, 2006).

Os quebra-mares podem ser diferenciados em quebra-mares de talude, de parede vertical, mistos ou flutuantes (Figura 2.40), em que cada um apresenta finalidades distintas, relativamente à dissipação da energia das ondas (Hughes, 2006)

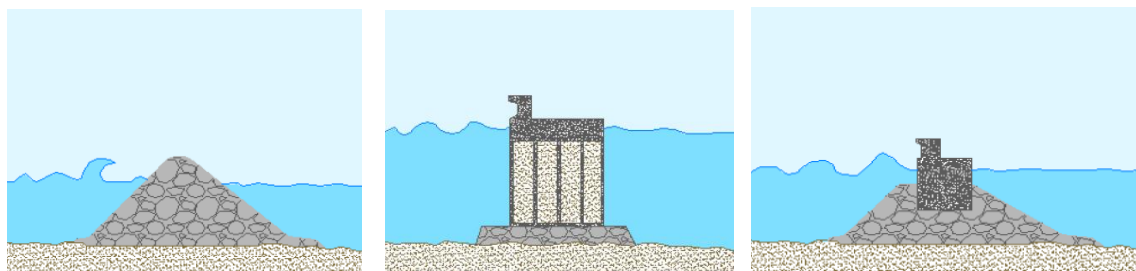


Figura 2.40– Quebra-mar de talude, parede vertical e misto (Fonte: Hughes, 2006).

Segundo Coelho (2005), os **quebra-mares portuários** (Figura 2.41) são estruturalmente análogos aos esporões (embora mais complexos e geralmente mais robustos) e são utilizados para estabilizar canais de navegação de acesso a portos. Estes apresentam como principal função tornar a navegação mais segura e a manutenção dos canais de navegação mais económica. Em geral, são maiores que os esporões e por isso induzem maiores défices no transporte sedimentar longitudinal, podendo gerar grandes acumulações a barlar e, consequentemente, maior erosão a sotamar.



Figura 2.41– Quebra-mar do porto de Ferrol (Fonte: Queiroz, 2016).

### *Estruturas perpendiculares à costa*

Este tipo de estruturas apresenta como principal função a retenção do transporte longitudinal de sedimentos que, por consequência, vai formar praias por depósitos de areias (Coelho, 2005). Na seguinte figura encontram-se representados esquematicamente as estruturas perpendiculares à costa (Figura 2.42).

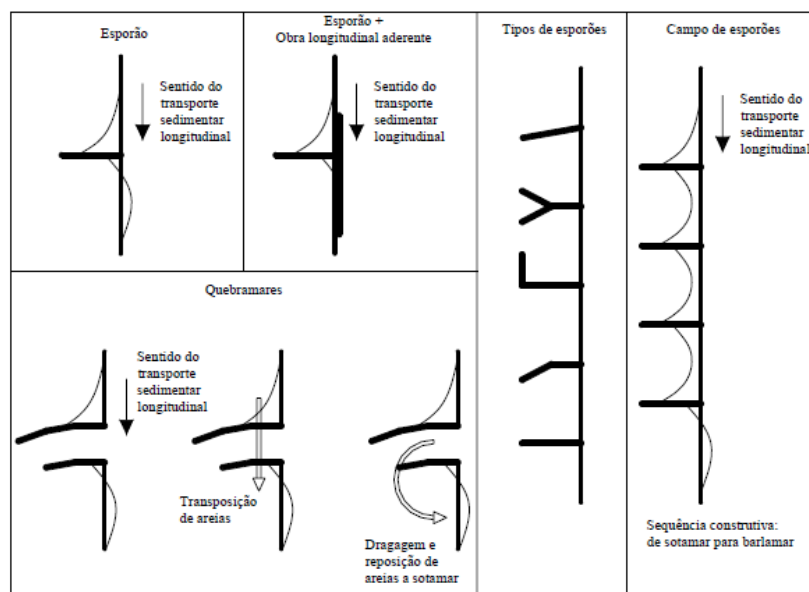


Figura 2.42- Esquema de estruturas perpendiculares à costa (Fonte: Coelho, 2005).

O **esporão** é uma estrutura perpendicular à linha de costa que se estende até à zona de rebentação, por norma, um pouco além da praia-mar, podendo atingir os 300 metros de comprimento (Coelho, 2005).

Geralmente, os esporões são construídos com o recurso a rochas empilhadas de forma regular, com enrocamentos, ou com a presença de um sistema de gabiões, suportando as cargas provocadas pelas ondas (Alfredini, 2005). Porém, segundo o mesmo autor, estes também podem ser construídos com madeiras, normalmente com recurso ao enchimento com

argamassa. Na figura seguinte (Figura 2.43) encontra-se representado um perfil transversal de um esporão tipo, com as diferentes composições de enrocamentos por secção.

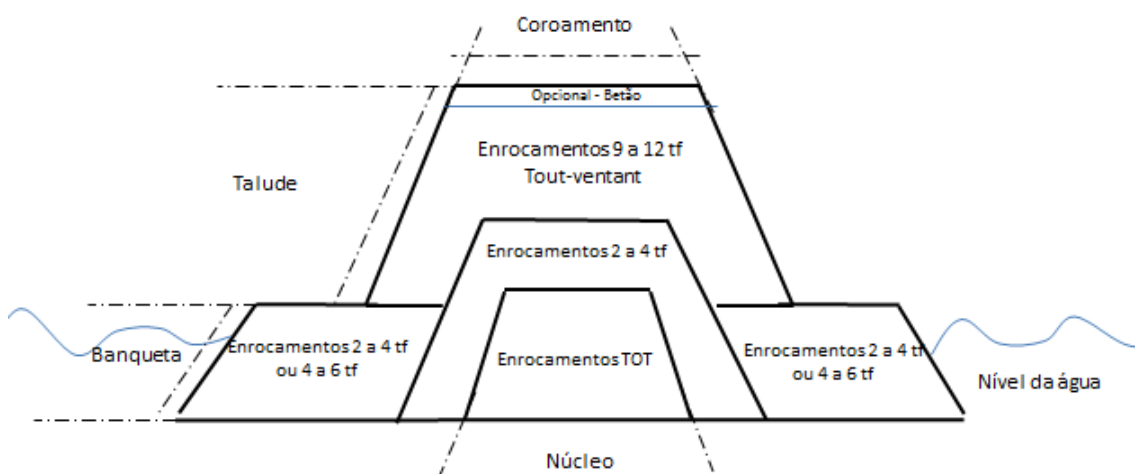


Figura 2.43 – Representação do perfil tipo de um esporão, com a composição das suas diferentes secções, segundo técnicos da APA.

Como observado na figura anterior, a composição geral de um perfil apresenta quatro secções, nomeadamente o seu núcleo, banquetas, talude e o seu coroamento. As banquetas são a secção que se encontra submersa e, opcionalmente a parte superior do coroamento encontra-se consolidada com betão.

Os principais objetivos destas estruturas são (van Rijn, 2010):

- Reter o transporte sedimentar longitudinal diminuindo a erosão costeira e estabilizar ou aumentar a área da praia. Os sedimentos ficam retidos a barlamar da estrutura e que é onde se manifesta o seu efeito protetor, embora promova a erosão mais intensa imediatamente a sotamar devido à interrupção no transporte sedimentar pela obra;
- Estabilização dos sedimentos provenientes de alimentação artificial em praias naturais ou artificiais;
- Impedir a migração de sedimentos, nomeadamente em zonas terminais de células sedimentares próximas de sumidouros de sedimentos.

Como se pode observar na Figura 2.44, os esporões podem ser edificados isoladamente ou em conjunto (campo de esporões), apresentando diferentes comportamentos de enchimento e erosão sedimentar (French, 2001).

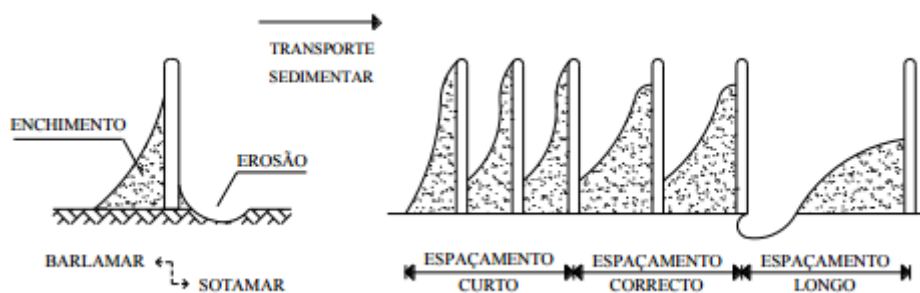


Figura 2.44– Comportamento de um esporão isolado e de um campo de esporões (Fonte: French, 2001).

Face aos seus diferentes fins os esporões podem adquirir várias formas, nomeadamente em forma de T, L, Z e Y, embora sejam geralmente retilíneos (Figura 2.45) (French, 2001).

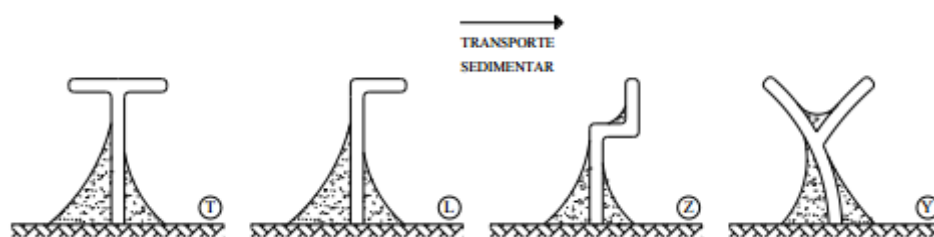


Figura 2.45 - Comportamentos de enchimento e erosão face a diferentes formas de esporões (Fonte: French, 2001).

Como referido anteriormente, os esporões são projetados a fim de reter os sedimentos transportados longitudinalmente à praia, reconstruindo e/ou protegendo estas, pelo que, segundo Coelho (2005), quanto mais compridos e altos maior a sua eficácia a barlar, mas, ao mesmo tempo maiores impactes a sotamar. Assim, geralmente são construídos campos de esporões, ou são associados a obras longitudinais de forma a diminuir o efeito erosivo a sotamar, como se pode observar na Figura 2.46.

Todavia, existem alguns esporões “permeáveis” que, segundo Hughes (2006), são construídos com o objetivo de permitir a passagem de uma parte dos sedimentos, promovendo uma menor reflexão das ondas e à formação de correntes de retorno de densidade menor.

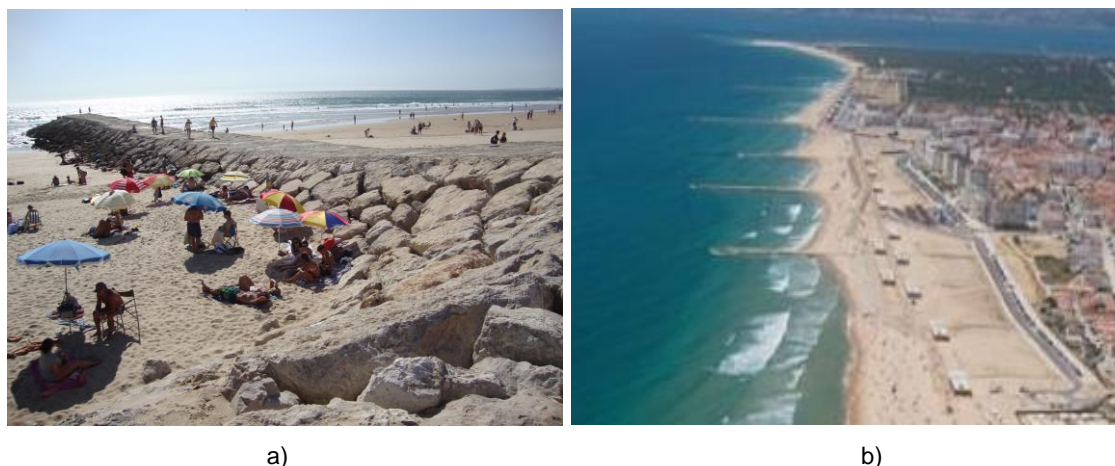


Figura 2.46– a) Esporão EC1 da Caparica associado a uma obra aderente (Fonte: Fotografia obtida a Agosto de 2017); b) Campo de esporões da Caparica (Fonte: SIARL, 2014).

### Intervenções de alimentação e reperfilamento das praias

A alimentação de praias e a construção de dunas, segundo Sousa (2011), são uma solução pertinente quando o objetivo é a proteção costeira com a manutenção de praias ou até mesmo a criação delas, tratando-se de um método que requer atenção quanto às características dos sedimentos a mobilizar. Segundo o mesmo autor, no caso da criação de uma praia, esta pode ser para suportar zonas de lazer ou para atuar contra a erosão.

O local onde se realiza o depósito de sedimentos com o propósito de contribuir para a alimentação artificial, deve ser objeto de um estudo prévio que pondere o comportamento desses sedimentos e do sistema e as consequências económicas.

Segundo Coelho (2005), este tipo de intervenções tentam trabalhar em conjunto com os processos naturais, ao contrário das obras pesadas que lhes tentam fazer frente. Estas intervenções, segundo o mesmo autor podem ser: a alimentação artificial de praias, reperfilamento de praias e a artificialização de dunas.

### 2.8.2. Intervenções nacionais / custos / investimentos

Com base no levantamento realizado e compilado por Silva (2014), baseado em dados disponibilizados pela APA, foi possível analisar os investimentos realizados na faixa costeira de Portugal continental relativamente às obras de defesa costeira entre 1995 e 2014.

Segundo esta análise e que serviu de base aos dados utilizados no Relatório do GTL (2014), verifica-se que para este período foram realizadas intervenções de proteção costeira no valor de 196 M€, sendo que as áreas mais problemáticas por POOC e por ordem decrescente são: 1ª Ovar-Marinha Grande (34,6%); 2ª Caminha-Espinho (19,0%) e 3º Sintra-Sado (18,8%) (Figura 2.47). Estas áreas litorais, segundo a GTL (2014), são caracterizadas como sendo baixas e arenosas, onde a ocupação urbana é intensa e há elevado défice sedimentar.

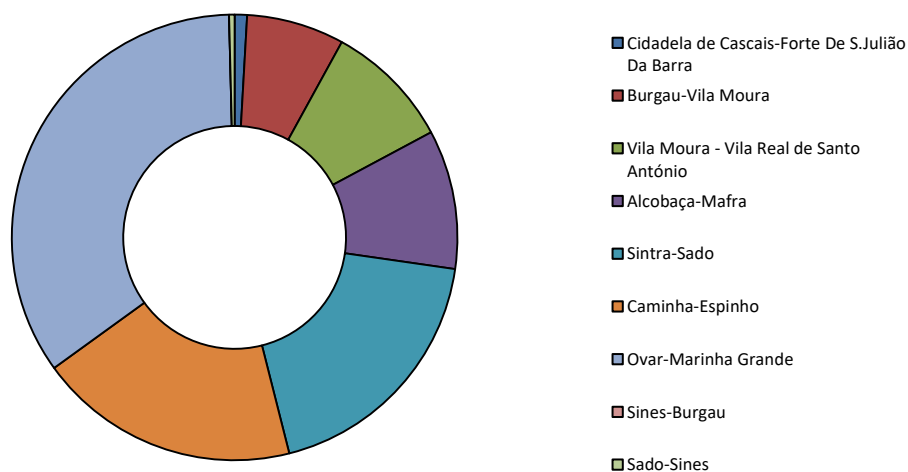


Figura 2.47– Investimentos realizados nas infraestruturas de defesa costeira entre 1995-2014 por POOC (Adaptado de Silva, 2014).

No mesmo trabalho de Silva (2014), os investimentos realizados nas obras costeiras também foram avaliados comparativamente aos vários concelhos. Verifica-se que os maiores investimentos foram realizados no concelho de Almada (18,8%), mais especificamente na Costa da Caparica, Ovar (11.4%) e Espinho (9,2%), como se pode observar na Figura 2.48.

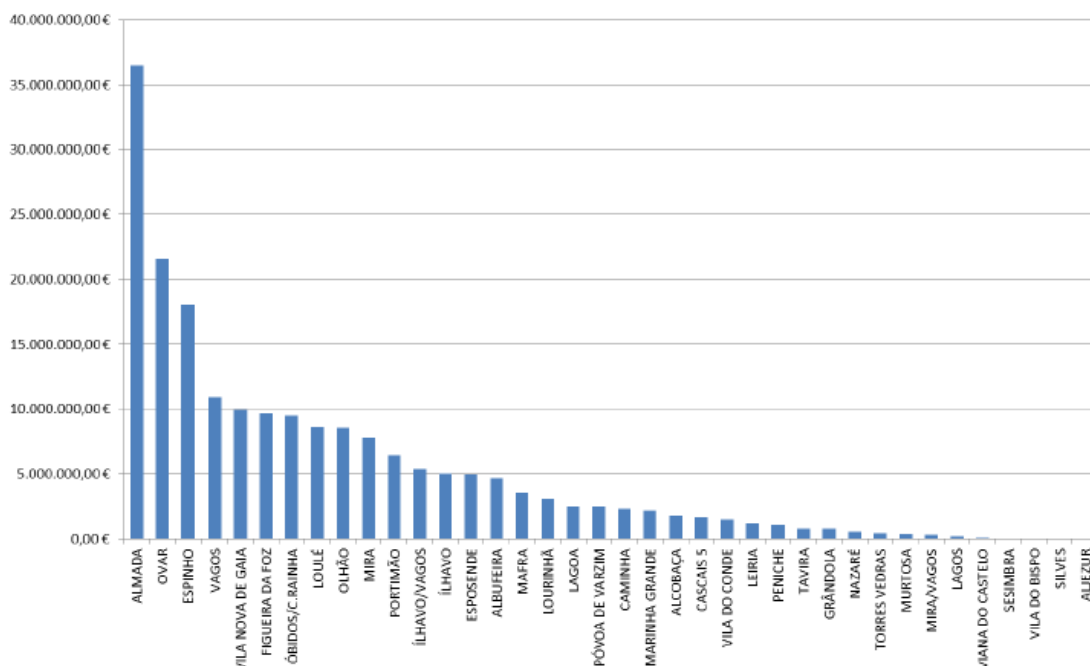


Figura 2.48 – Investimentos realizados nas infraestruturas de defesa costeira entre 1995-2014 por concelho (Fonte: Silva, 2014).

Relativamente à tipologia dos investimentos realizados nas obras costeiras, pode-se observar que mais de metade (52%) envolvem obras de tipologia pesada, nomeadamente esporões, obras aderentes e destacadas, enquanto 38% respeitam a obras ligeiras, nomeadamente alimentação artificial e reforços de diques ou dunas e 8% das intervenções respeitam a intervenções em arribas (Figura 2.49).

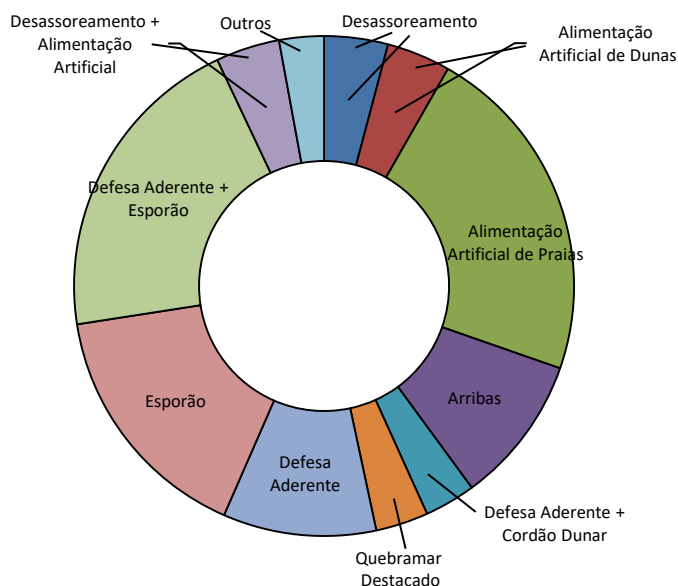


Figura 2.49– Investimentos por tipologia de obra costeira entre 1995-2014 (Adaptado de: Silva 2014).

O número de investimentos realizados na última década e segunda Silva (2014) foi maior em obras de tipologia leve, como sejam mobilização de sedimentos e intervenções em sistemas dunares, embora a maior percentagem em termos de custos seja em obras pesadas, uma vez



que este tipo de empreendimentos, seja na manutenção seja na construção de raiz, são em menores quantidades, mas muito mais caras que as de tipologia leve.

Com base na evolução da linha de costa entre os anos de 1958 a 2010 efetuado por Lira (2014), Silva (2014) sobrepôs os investimentos realizados por concelho relativamente às obras de defesa costeira para o período entre 1995 a 2014, o que permite correlacionar os trechos costeiros com maior erosão com os de maior investimento e que corresponde ao expectável conforme se pode observar na Figura 2.50.

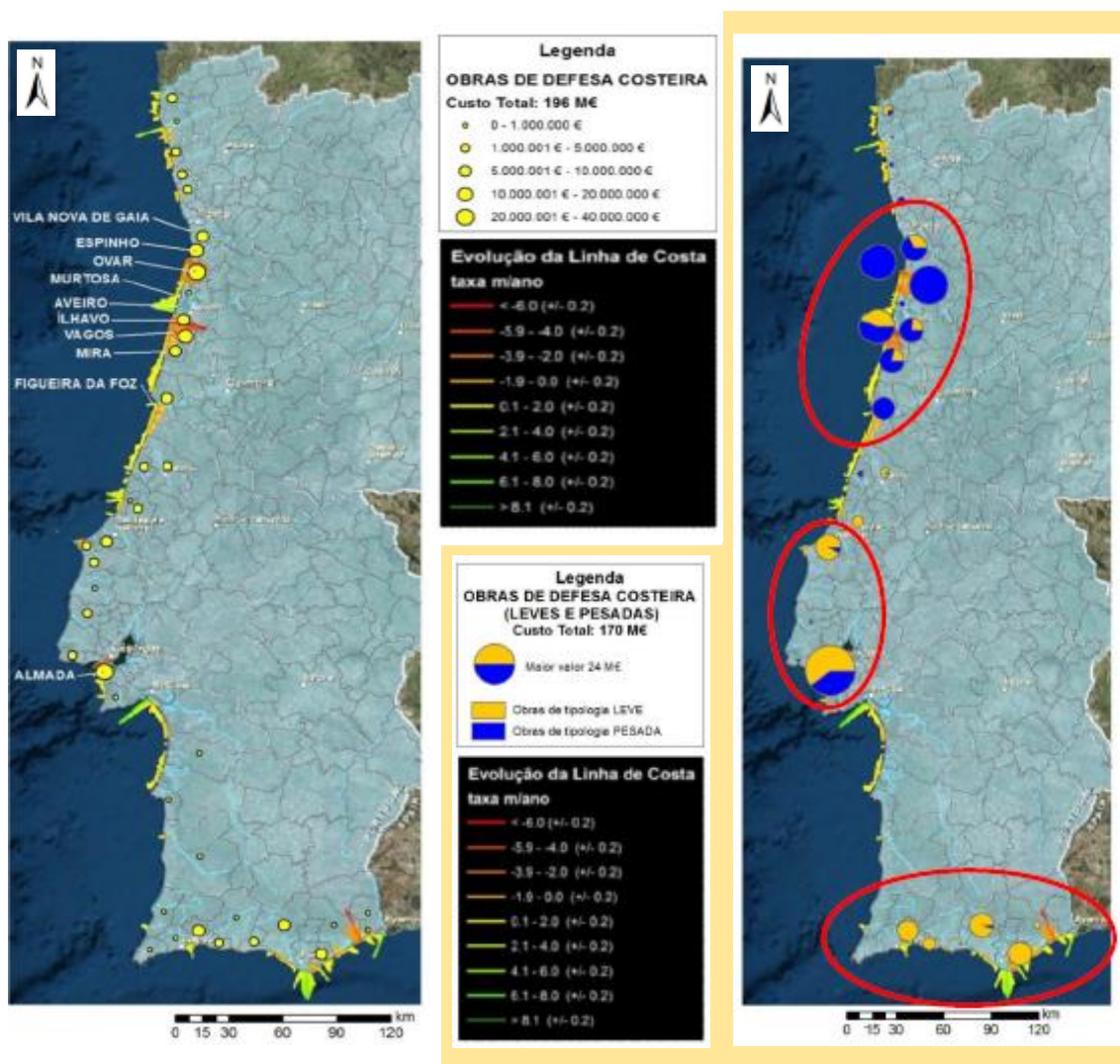


Figura 2.50 – Sobreposição dos custos das obras costeiras entre 1995-2014 com a evolução da linha de costa entre 1958-2010 e da tipologia das obras costeiras face aos seus custos para o mesmo intervalo (Fonte: Lira, 2014; Silva, 2014)

Relativamente à tipologia de obras em termos geográficos e tomando como referência o trabalho de Silva (2014), podemos observar na Figura 2.50, que existe uma predominância de obras da tipologia pesada a norte do País, e de obras da tipologia leve na zona de Lisboa e a sul do país.

Como referido anteriormente, entre 1995-2014 houve um investimento de cerca e 196 milhões de euros nas intervenções de defesa costeira, sendo que, segundo o GTL (2014) há uma

elevada variação interanual associada a uma tendência de crescimento desse investimento, como se pode observar na Figura 2.51.

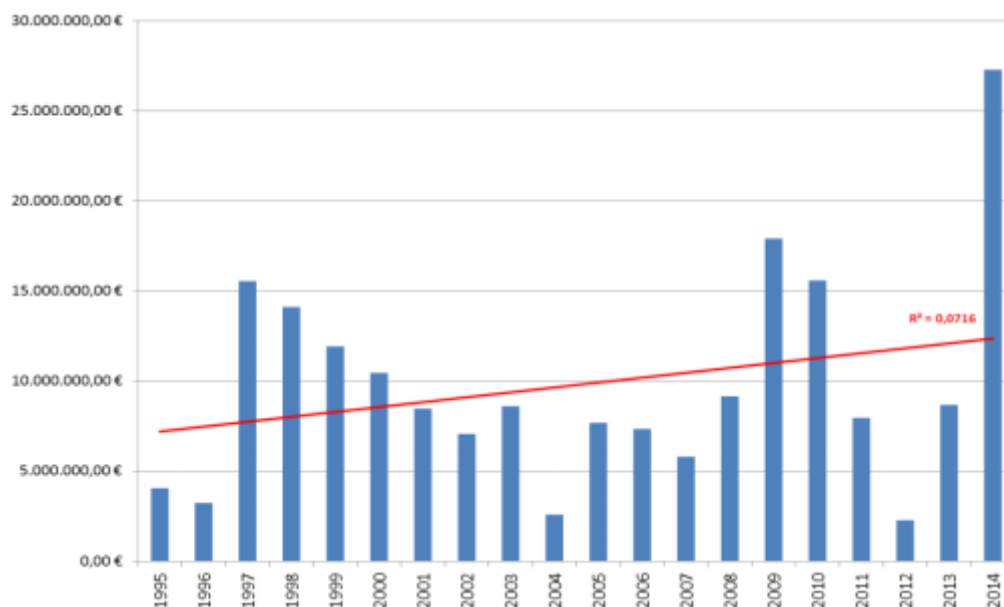


Figura 2.51– Investimentos anuais realizados em intervenções de defesa costeira (Fonte: Silva, 2014)

Segundo o GTL (2014), as explicações para as várias flutuações de investimentos parecem ter a ver mais com razões de carácter político e administrativo do que devido a necessidades objetivas no terreno. Com efeito e de acordo com a análise efetuada pelo GTL:

- Nos anos de 1995 e 1996 a ocorrência de baixos investimentos deve-se, possivelmente, à transferência de competências das intervenções da ex-Direção Geral de Portos para o ex-INAG,
- A partir do ano de 1997 o aumento significativo nos investimentos nas intervenções de defesa costeira até ao ano de 2003 parece estar associado às disponibilidades financeiras após a adesão de Portugal à CEE;
- Em 2004 foi diminuta a concretização de obras do ponto de vista financeiro;
- No ano de 2009 verifica-se a ocorrência de um pico de investimentos que coincide com o início do apoio financeiro decorrente do POVT – QREN;
- O baixo investimento sucedido em 2012 coincide com a crise financeira a nível nacional;
- No ano de 2014 houve um pico de investimento, provavelmente porque resolvidos os constrangimentos administrativos e financeiros da execução das ações candidatas ao POVT – QREN e que coincide também com as ocorrências das tempestades de 2013-2014 designadamente devido à tempestade Hércules e que mereceu um forte atenção política.

No mesmo relatório realizado pelo Grupo de Trabalho do Litoral é efetuada uma sobreposição entre os investimentos realizados e as ocorrências de temporais, entre os anos de 1995 a 2014 (Figura 2.52).



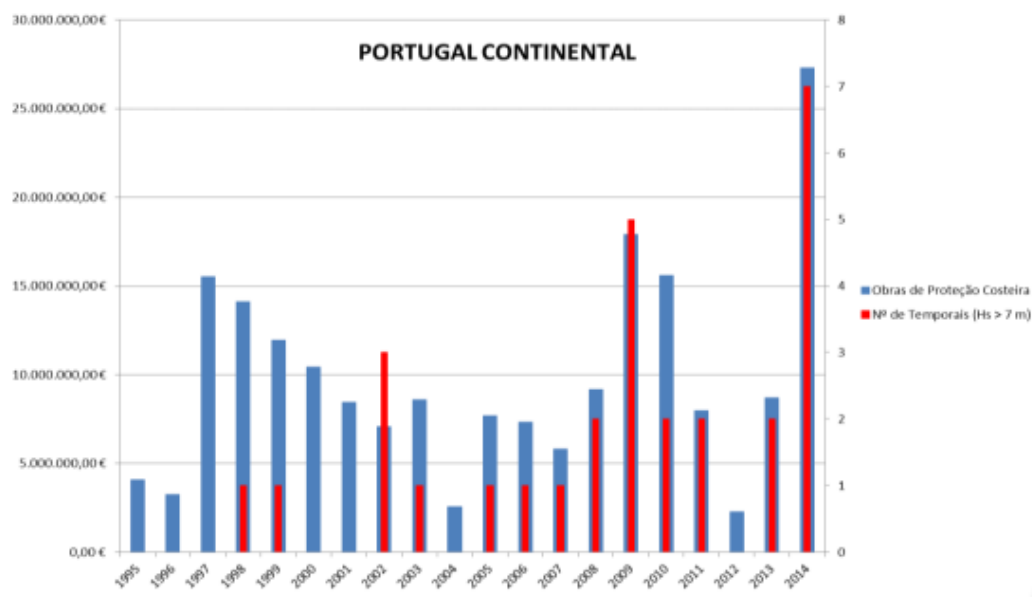


Figura 2.52- Investimentos anuais entre os anos de 1995-2014 face aos acontecimentos de temporais registados com ondas superiores a 7 metros de altura (Fonte: Silva, 2014)

Face à aparente falta de correlação entre os investimentos efetuados e as tempestades ocorridas no mesmo período conforme evidenciados na Figura 2.52, o GTL avança como possibilidade que os investimentos em obras de defesa estão mais relacionados com razões políticas administrativas de carácter financeiro do que com efetivos estragos verificados no terreno devido há ocorrências das tempestades.

Em Espinho, segundo a CME (Câmara Municipal de Espinho, 2016), foram realizadas obras de reforço no Esporão norte. Após a realização destas obras de reforço dos esporões, podemos observar que, apenas cinco meses depois destes empreendimentos, a obra apresentava novamente problemas estruturais. Na Figura 2.53 é possível observar o esporão com uma estrutura defeituosa na sua cabeça, no qual os seus levantamentos fotogramétricos foram obtidos através da utilização do *drone* da APA no dia 12 de Julho de 2017.

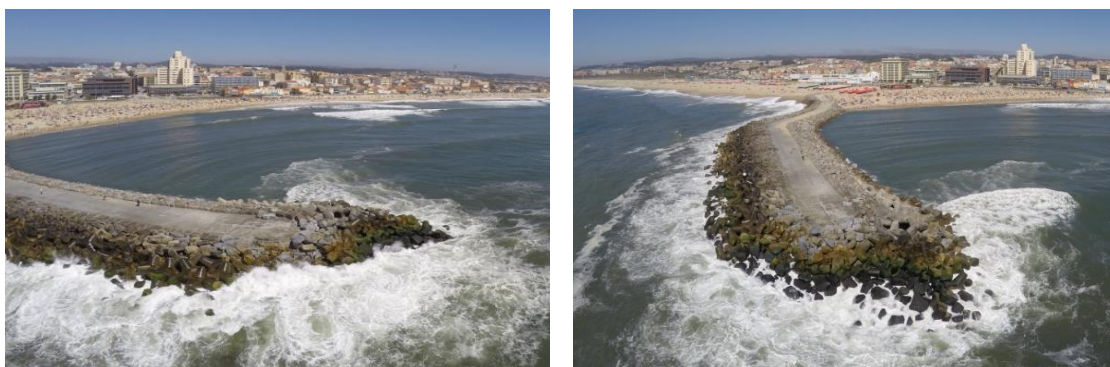


Figura 2.53— Esporão Norte de Espinho (Fonte: Fotografias obtidas com *drone* da APA no dia 12 de Julho de 2017).



### 3. OS DESAFIOS DOS LITORAIS BAIXOS E ARENOSOS: A DEFESA COSTEIRA ENTRE A COVA DO VAPOR E A COSTA DA CAPARICA

Os casos de estudos a desenvolver nesta dissertação situam-se no troço Trafaria – Costa da Caparica, o qual integra o concelho de Almada, distrito de Setúbal.

Antes de se avançar no presente trabalho para uma análise mais detalhada da evolução das intervenções de defesa na Costa da Caparica e na Cova do Vapor, convém entender algumas dinâmicas aqui registadas.

Antes da década de 60 o concelho de Almada era uma zona pouco povoada e rural, sendo que a sua expansão demográfica deu-se após a finalização da Ponte 25 de Abril no ano de 1966. A inauguração da travessia ferroviária entre Lisboa e a margem sul, em 1999, contribui também para o crescimento demográfico no concelho de Almada (Oliveira, 2015).

Estes dados que indiciam maior pressão sobre o território, a par da atividade do Porto de Lisboa de no passado utilizou de forma continuada sedimentos, predominantemente, oriundos do banco do Bugio, para aterros, são os fatores principais para os problemas aqui registados: Erosão costeira e consequente recuo da linha da costa e na pressão urbanística, grande parte de génese ilegal (Oliveira, 2015; Ferreira, 2016). Na Figura 3.1 pode observar-se a fragilidade deste tipo de área, relativamente à taxa de recuo da linha de costa nos últimos 50 anos e à pressão urbanística presente (mapas realizados por Ferreira, 2016).

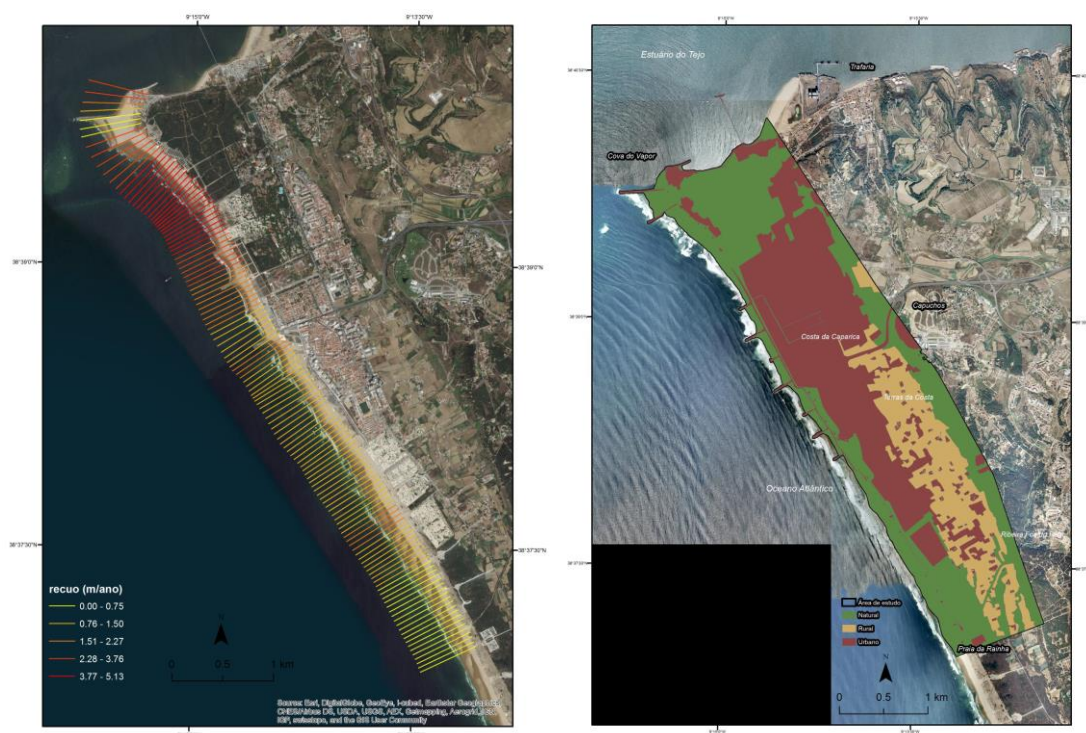
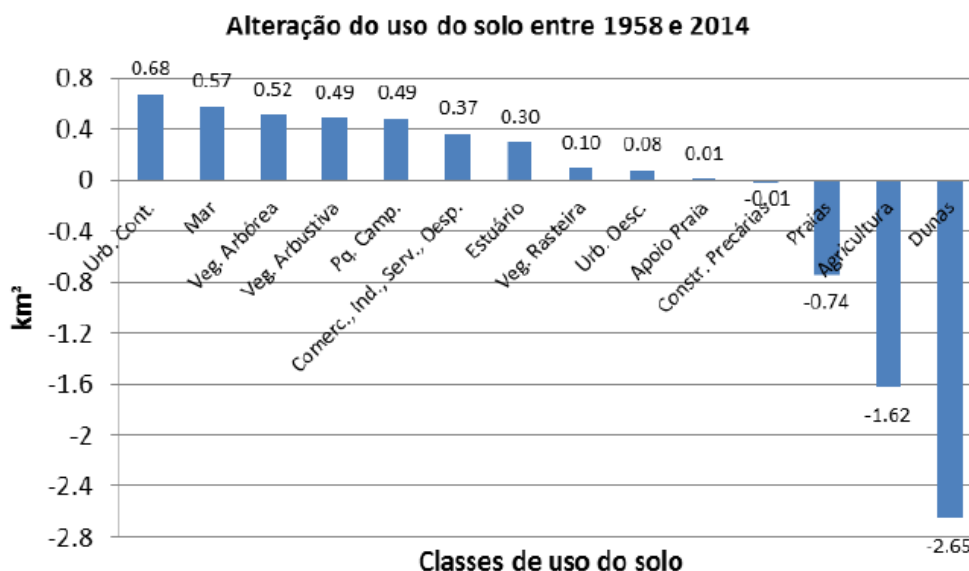


Figura 3.1— a) Mapa da taxa de recuo da linha de costa nos últimos 50 anos; b) mapa dos usos do solo na Cova do Vapor e da Costa da Caparica (Fonte: Ferreira, 2016).

Analisando a Figura 6.1a, verifica-se que as zonas a norte da linha de costa da área de estudo, nomeadamente a praia da Cova do Vapor e a praia de São João, são as mais afetada pela erosão, tendo taxas de recuo médio máximas de 5,13 m/ano. Com base na taxa de recuo calculada por Ferreira (2016), a linha de costa para a área de estudo recuou aproximadamente 200 m, sendo que a taxa de erosão vai diminuindo para sul da área de estudo.

Relativamente à variação dos usos de solo calculado pelo mesmo autor para a Cova do Vapor e Caparica (Tabela 3), é evidenciado uma planície mais urbana com um declínio acentuado das áreas agrícolas e das dunas e praias, sendo estas últimas uma vertente muito importante na proteção natural da zona costeira face à subida do nível do mar. Desta forma, as mudanças presenciadas neste território, nos últimos 50 anos, estão a diminuir a sua resiliência, aumentando o risco de consequências graves nas comunidades costeiras (Ferreira, 2016).

Tabela 3 – Variação das subclasses do uso do solo entre 1958 e 2014 em km<sup>2</sup> (Fonte: Ferreira, 2016)



### 3.1. Evolução da linha de costa da Cova do Vapor e na Caparica e consequentes intervenções de defesa costeira

Como referido anteriormente, a evolução da linha de uma costa depende de vários componentes de carácter naturais e antropogénicas. O território encontra-se em constante transformação e evolução. De seguida será representada a evolução da linha de costa para o troço em estudo e, posteriormente, as medidas de defesa implementadas para impedir do avançar do mar.

Para Veloso-Gomes (2007), a Costa da Caparica e a Cova do Vapor, são planícies costeiras baixas arenosas e edificadas que apresentam uma grande suscetibilidade à ocorrência de eventos extremos e com um constante saldo sedimentar negativo.

Nesta parte do trabalho, apenas serão enunciadas as alterações da linha de costa desde o ano de 1845, uma vez que a evolução da linha de costa histórica de Portugal continental já foi referida anteriormente nesta dissertação. A evolução passada deste sector, entre 1870 a 2001, encontra-se ilustrada na seguinte figura (Figura 3.2).

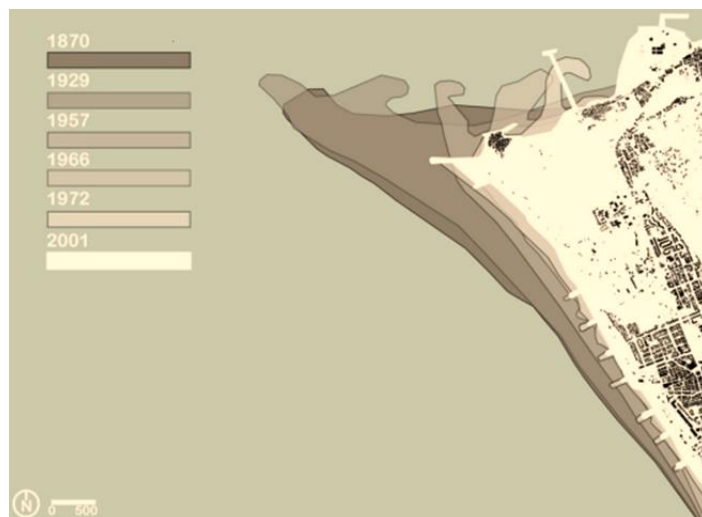


Figura 3.2 – Comportamento da linha de costa da Cova do Vapor e Caparica entre 1870 a 2001 (Adaptado de Rocha, 2011).

Segundo Pinto *et al.*, (2007), entre os anos de 1845 até 1879 houve um recuo de cerca de 750 m da ponta livre da restinga do Bugio. Posteriormente, entre 1879 e 1893, houve a ocorrência de um novo recuo da linha da costa, onde a ponta livre da restinga recuo 400 m.

No período entre 1929 a 1939 a extremidade livre da restinga avançou em direção ao farol do Bugio 750 m, enquanto na Trafaria a sua margem fluvial recuou cerca de 200 m. Durante períodos de baixa-mar de águas vivas, era possível a realização da travessia a pé entre a Cova do Vapor e o Bugio (Pinto *et al.*, 2007).

Na década de 40, houve uma redução considerável da restinga da Cova do Vapor a qual deveu-se à realização de várias dragagens, nomeadamente a retirada de 14,5 milhões de m<sup>3</sup> de areia, essencialmente para a construção de aterros em Algés/Pedrouços (Abreu, 2010; Oliveira, 2015)

Segundo Pinto *et al.*, (2007), entre 1957-1963 houve erosão intensa da praia e dunas na Costa da Caparica e na Cova do Vapor, as quais presenciaram um recuo da zona dunar de 100 m e a diminuição das suas cotas de 14 m ZH para 8 m ZH, como se pode evidenciar na Figura 3.3.

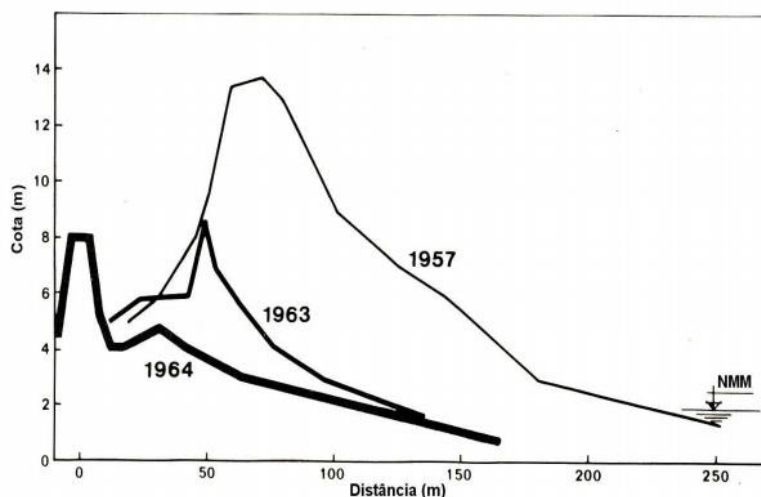


Figura 3.3 - Evolução de perfis transversais de praia entre 1957 e 1964 (Fonte: Barceló, 1971 *cit in* Veloso-Gomes et al., 2004)

Entre os anos de 1959 a 1963, procedeu-se à construção de três esporões e uma obra longitudinal aderente na Cova do Vapor. E entre 1968 a 1971, um campo de esporões (7 esporões 180 m, afastados 330 m entre si e uma obra de defesa aderente com 2,5 km de comprimento) como se pode observar na Figura 3.4 (Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2007).



Figura 3.4— Obras de proteção na Costa da Caparica e Cova do Vapor (Adaptado de Veloso-Gomes *et al.*, 2006).

Após a realização das obras de proteção, o recuo da linha de costa manteve-se estável durante aproximadamente 30 anos, embora com a ocorrência periódica de galgamentos (Veloso-Gomes *et al.*, 2006).

No início do novo milénio, iniciou-se um novo ciclo do recuo da linha de costa devido a invernos rigorosos com registos da ocorrência de diversos galgamentos e perda do areal, nomeadamente na praia de S.João. Nesta praia houve a ocorrência de diversas intervenções



de emergência de forma a tentar minimizar os estragos nas infraestruturas e equipamentos urbanos, nomeadamente após os invernos de 2002/2003, 2004/2005 e 2006/2007 (Veloso-Gomes, 2007; Ferreira, 2016)

Entre os anos de 1999 a 2002 a linha de costa recuou em média cerca de 14,6 m, enquanto entre 2002 e 2007 cerca de 12,2 m (Pinto *et al.*, 2007).

Segundo Silva (2014), entre 2003 e 2014, os investimentos realizados na Costa da Caparica e na Cova do Vapor na sua defesa costeira rondaram os 33 milhões de euros. Destes investimentos realizados, os mais significativos destinaram-se à reparação dos esporões e das obras aderentes no ano de 2003 e as várias alimentações artificiais na praia de S. João, após as intervenções de emergência face ao Inverno de 2006/2007, 2008/2009 e 2013/2014. No ANEXO A (Figura 9.1) observa-se um conjunto de notícias de jornais relatando os problemas, anteriormente enunciados na Costa da Caparica e na Cova do Vapor.

No trabalho realizado por Ferreira (2016), o autor compilou as várias intervenções de defesa costeira na Costa da Caparica entre os anos de 2003 a 2014, com o custo inflacionado para o ano de 2015. No ANEXO B (Tabela 27) apresenta-se os vários tipos de defesa que foram realizados no concelho de Almada, bem como o seu custo de investimento realizado. Através dos dados compilados por Ferreira (2016), entende-se que a tendência dos investimentos realizados no concelho de Almada entre 2003 e 2014 são de tipologia leve, nomeadamente enchimentos de praia e reparações de cordões dunares, representando cerca de 56% dos investimentos realizados enquanto os investimentos de tipologia pesada representam 43% e os restantes investimentos 1%.

Apesar da tendência dos investimentos nos últimos anos serem de medidas leves, o facto de e apresentarem um peso de quase 50% do valor investido no período em análise, demonstra o elevado custo monetário que estes apresentam na defesa costeira deste troço costeiro.

Relativamente aos investimentos, diferenciados por ano, é analisado que, pelos dados compilados por Ferreira (2016), o ano que apresentou um maior investimento foi o de 2003. De referir que em 2004, 2005, 2011, 2012 e 2013 não foram realizados quaisquer tipos de investimento na defesa costeira do concelho de Almada, como se depreende da figura seguinte (Figura 3.5).

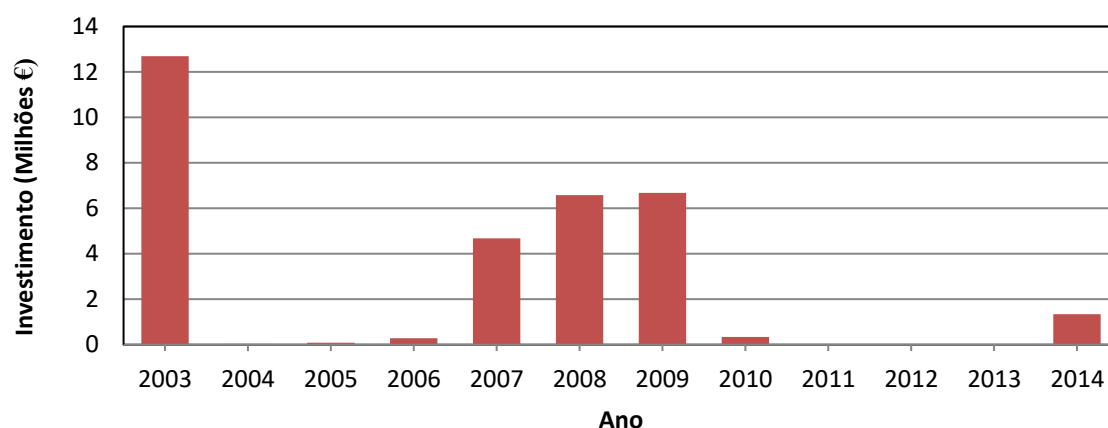


Figura 3.5– Investimentos realizados por ano no concelho de Almada entre 2003 e 2014 (Adaptado de Ferreira, 2016).

De referir a existência de inúmeras construções de génese ilegal nesta zona, merecendo aqui particular referencia o aglomerado da Cova do Vapor pois, antes das intervenções na obra aderente e nos esporões, já que a sua localização confere-lhe uma grande vulnerabilidade e que, segundo o POOC Sintra - Sado, estava previsto a sua retirada.

As obras pesadas que protegem a Cova do Vapor tiveram que ser objeto de reparação em 2003 - 2006 (obra aderente e esporões, evidenciados na Figura 3.6) face às tendências do avanço do mar e como forma para proteger construções, que são clandestinas, situadas a cotas muito baixa e a poucos metros do mar, com caves dotadas de portas e gateiras ao nível do estradão marginal, encontrando-se por cima de dunas primárias (Veloso-Gomes, 2006). Segundo a APA (2004), houve um investimento de aproximadamente 2 404,74 milhões de euros na reparação destes esporões e da obra aderente longitudinal.



Figura 3.6 – a) Obra aderente OA3; b) Esporão EV3; c) Esporão EV2; d) Esporão EV1 da Cova do Vapor (Fonte: Fotografias Obtidas a Agosto de 2017)



### 3.2. Esporão EV1 e EV2 da Cova do Vapor

Os esporões da Cova do Vapor constituem os casos de estudo utilizado na presente dissertação. Estes esporões foram construídos entre o ano de 1959 a 1963 e foram objeto de obras de reparação no ano de 2004/2007, como referido anteriormente, juntamente com os outros sete esporões da Caparica e obras aderentes (obra aderente / esporão OA3 e Obra Aderente OA2). O Esporão EV2 é o maior e o que se encontra mais a norte deste conjunto de nove esporões (APA, 2004).

Atendendo a que são obras antigas, com mais de meio século, verifica-se serem muito escassos os dados de monitorização sobre elas e que constitui o foco de atenção desta dissertação. Com efeito, não foram encontrados nos processos dados de monitorização, salvo relatórios, sem análises quantitativas, que indicavam que as obras estariam danificadas por simples observação à distância no local antes das intervenções de que foram objeto.

Também não foram encontrados dados na APA sobre estas obras antes da transferência de competências que se registou entre 1992 (referir o diploma da transferência) entre a ex-Direção Geral de Portos e o Ex – INAG) daí esta análise prévia incidir, sobretudo, com base na evolução que é possível extrair das imagens históricas de satélites provenientes do *DigitalGlobe* e *Google Earth*.

#### 3.2.1. Esporão EV1 da Cova do Vapor

Em 2016 (última data obtida para este troço) o esporão apresenta um comprimento de aproximadamente 365,39 metros, quando à 15 anos apresentava menos de 100 metros do que o seu comprimento actual e confirmado nas imagens da Figura 3.7.



Figura 3.7 – Variabilidade estrutural do esporão EV1 da Cova do Vapor entre os anos de 2001 e 2016.

Com o auxílio das ferramentas do *Google Earth* foi medido o comprimento do esporão relativamente aos quatro anos ilustrados e cujas variações são observáveis na **Erro! Autorreferência de marcador inválida.**

Tabela 4 – Comprimento e variação do Esporão Ev1 da Cova do Vapor entre 2001 a 2016

| Data       | Comprimento (m) | Diferença (m) |
|------------|-----------------|---------------|
| 14-08-2001 | 228,45          | 0             |
| 03-06-2004 | 215,24          | -13,21        |
| 27-06-2007 | 373,50          | 158,26        |
| 19-06-2016 | 365,39          | -8,11         |

Verifica-se que entre 2001 a 2004 este esporão registou uma perda de 13,21 metros no seu comprimento. Com a reparação do esporão, este foi aumentado em 158,26 metros de comprimento, relativamente a 2004. No ano de 2016 este perdeu 8,11 metros face ao ano de 2007.

Segundo os AUTOS de reparação dos esporões e obras aderentes da Caparica e Cova do Vapor (2004), que constam do processo existente na APA, o esporão EV1 da Cova do Vapor teve um custo de reparação de aproximadamente 830 mil euros. Este esporão foi totalmente reparado desde o seu enraizamento, tendo para tal sido utilizadas 67 979,60 toneladas de enrocamentos. A composição dos enrocamentos fornecidos ao esporão EV1 em toneladas foram:

- *Tout-venant* – 713,60 toneladas;
- Enrocamentos TOT selecionado – 11893,04 toneladas;
- Enrocamento 0,5 a 1 tf – 7283,02 toneladas;
- Enrocamentos 1 a 2 tf – 3 694,08 toneladas;
- Enrocamentos 4 a 6 tf – 21 098,86 toneladas;
- Enrocamentos 9 a 12 tf – 23 298,10 toneladas.

No seguinte gráfico (Figura 3.8) observa-se a composição dos enrocamentos que constam no esporão EV1 em percentagem:

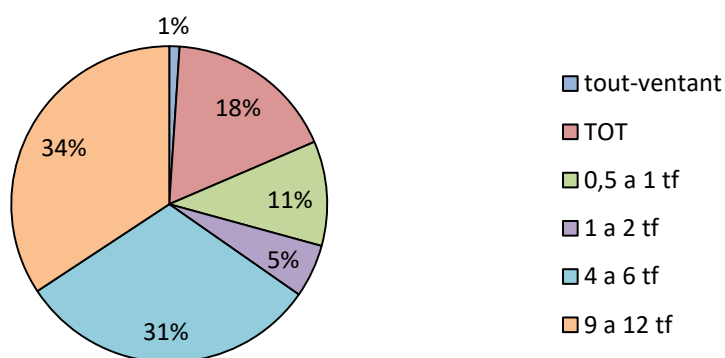


Figura 3.8 – Composição dos enrocamentos/blocos utilizados no Esporão EV1 da Cova do Vapor (Adaptado da APA, 2004).

Como observado na figura anterior, 65% deste esporão é composto por blocos com um peso superior a 4 toneladas, dos quais 34% representam enrocamentos com um peso entre 9 a 12 toneladas de calcário.

### 3.2.2. Esporão EV2 da Cova do Vapor

O esporão EV2 da Cova do Vapor, o que se situa mais a Norte, apresentava no ano de 2016 (última imagem satélite obtida para este troço) um comprimento de aproximadamente 526,22 metros. Na Figura 3.9 pode-se observar as alterações mais salientes registadas no esporão entre os anos de 2001 e 2016.

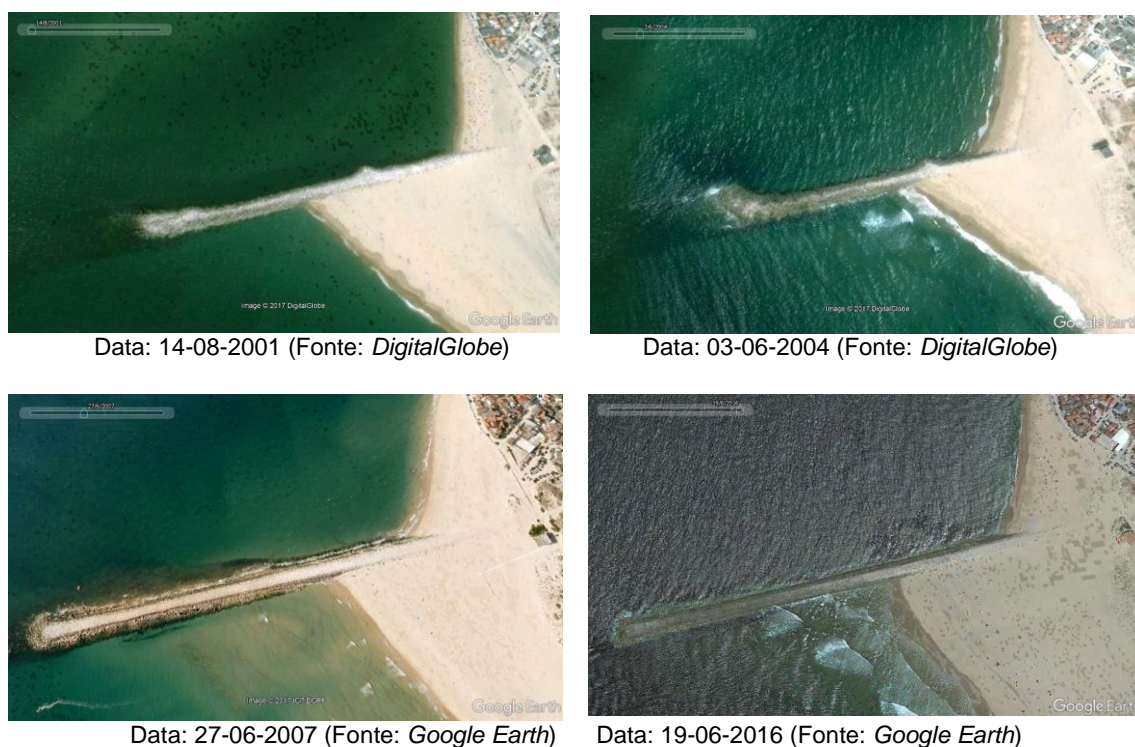


Figura 3.9 - Variabilidade estrutural do esporão EV1 da Cova do Vapor entre os anos de 2001 e 2016 (Fonte: Google Earth).

Na Tabela 5 são apresentadas as variações do comprimento do esporão para os quatro anos ilustrados, com recurso às ferramentas de medição do *Google Earth*.

Tabela 5 - Comprimento e variação do Esporão Ev1 da Cova do Vapor entre 2001 a 2016

| Data       | Comprimento (m) | Diferença (m) |
|------------|-----------------|---------------|
| 14-08-2001 | 430,60          | 0             |
| 03-06-2004 | 420,62          | -9,98         |
| 27-06-2007 | 532,98          | 117,36        |
| 19-06-2016 | 526,22          | -6,76         |

De acordo com estes dados, o esporão EV2 da Cova do Vapor no ano de 2001 apresentava um comprimento de aproximadamente 430,60 metros (desde a sua cabeça até ao enraizamento). Entre 2001 e 2004 diminuiu cerca de 9,98 metros do seu comprimento e após a

sua reparação em 2004/2007 o seu comprimento passou para 532,98 metros, aumentando aproximadamente 117,36 metros. Entre 2007 e 2016 perdeu cerca de 6 metros.

Este esporão apresentou um custo total de aproximadamente 1,362 milhões de euros, no qual foram fornecidos enrocamentos no valor de 119 755 toneladas. A composição (em toneladas) dos enrocamentos fornecidos foi a seguinte (APA, 2004):

- *Tout-venant* – 735,5 toneladas;
- Enrocamentos TOT selecionado – 23 794,06 toneladas;
- Enrocamento 0,5 a 1 tf – 11 192,08 toneladas;
- Enrocamentos 1 a 2 tf – 7 098,96 toneladas;
- Enrocamentos 4 a 6 tf – 39 886,90 toneladas;
- Enrocamentos 9 a 12 tf – 37 047,18 toneladas.

No gráfico seguinte (Figura 3.10) pode observar-se a composição que o esporão EV2 tinha em após a sua reparação quanto ao tipo de enrocamentos:

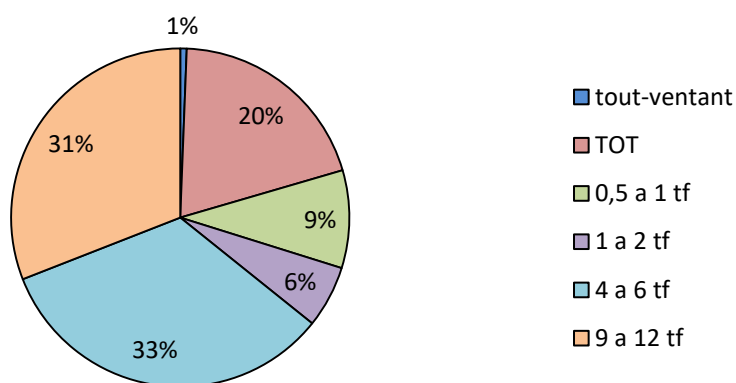


Figura 3.10 - Composição dos enrocamentos/blocos fornecidos ao Esporão EV1 da Cova do Vapor (Adaptado da APA, 2004).

Em termos do esporão EV2 e relativamente à situação antes da sua reparação, esta envolveu um reforço de aproximadamente 64% de materiais de classe superior a 4 toneladas, dos quais 31% respeitavam a materiais de classe superior a 9 toneladas.

Como se pode entender desta pequena análise a estes esporões estes sofreram uma intervenção muito significativa antes de 2007 e, antes desta reparação, encontravam-se significativamente danificados e pouco coesos a avaliar pelas imagens satélite.

### **3.3. Ocorrências de Tempestades e Agitação Marítima na Costa da Caparica**

Um dos aspetos centrais para se saber qual o comportamento das obras, é efetuar correlações entre tempestades e os seus efeitos nas obras logo após a sua ocorrência se possível.

Segundo Rogers (1997), a costa portuguesa é assolada essencialmente por dois tipos de tempestades, as extratropicais (provenientes do quadrante noroeste) e as subtropicais (provenientes do quadrante sudoeste). As tempestades extratropicais são desenvolvidas a latitudes médias, nomeadamente entre 30° a 60°, sendo estas caracterizadas por um núcleo frio com ventos fortes e chuvas moderadas a torrenciais (Gulev *et al.*, 2001). As tempestades subtropicais geralmente são formadas em zonas tropicais, apresentando um núcleo quente, transportando massas de ar quente e caracterizada por ventos fortes localizados mais longe do centro (Evans & Guishard, 2009).

A forte agitação marítima que atinge a costa portuguesa é gerada essencialmente por tempestades extratropicais, no qual os seus ventos, concentrados no núcleo das tempestades, formam vastas áreas de interação entre o mar e a atmosfera, potenciando a geração de ondas com elevada energia. Estas tempestades são formadas no Atlântico Norte e desenvolvem-se de oeste para este, apresentando ondas de elevado *fetch* (comprimento da massa de água) e *swell* (as ondas observadas longe da sua zona de geração) (Antunes, 2014; Ferreira, 2016).

Face à vulnerabilidade da Costa da Caparica à agitação marítima, faz-se de seguida uma análise das principais tempestades e que de certa forma são a causa principal para as intervenções de emergência registados nesta zona.

Praticamente, a maioria das obras pesadas de defesa costeira executadas na costa portuguesa, salvo as portuárias, não obedecem a qualquer planeamento e resultam, em regra, de obras de emergência na sequência de galgamentos efetivos ou ameaçadas de frentes urbanas costeiras (GTL, 2014). As obras pesadas da Costa da Caparica não fogem à regra e este é precisamente um dos pontos centrais que se pretende atingir com a presente dissertação. Desta forma, é preciso monitorizar mais para haver melhor planeamento de modo a introduzir-se maior resiliência nos sistemas costeiros e das frentes urbanas em particular de forma a deixar-se de agir de forma reativa, as quais têm dominado na nossa gestão costeira.

Como tal, é imperioso que sejam efetuadas sistemáticas relações de causa efeito entre tempestades e comportamento de obras, avançando-se com dois exemplos.

#### **3.3.1. Inverno de 2006/2007 na praia de S.João**

No Inverno do ano de 2006/2007, a praia de S.João foi afetada por uma tempestade que originou episódios de destruição da duna frontal com episódios de galgamentos e inundações no parque de campismo, gerando situações de efetivo risco para pessoas e com destruição de equipamentos e infraestruturas. Este inverno foi caracterizado por apresentar rumos e alturas de ondas extremas (Veloso-Gomes, 2007).



O ondógrafo de Sines, entre 3 de Outubro de 2006 a 3 de Outubro de 2007, registou os picos de agitação marítima, evidenciados durante o inverno, na Figura 3.11 encontram-se representados esses registos:

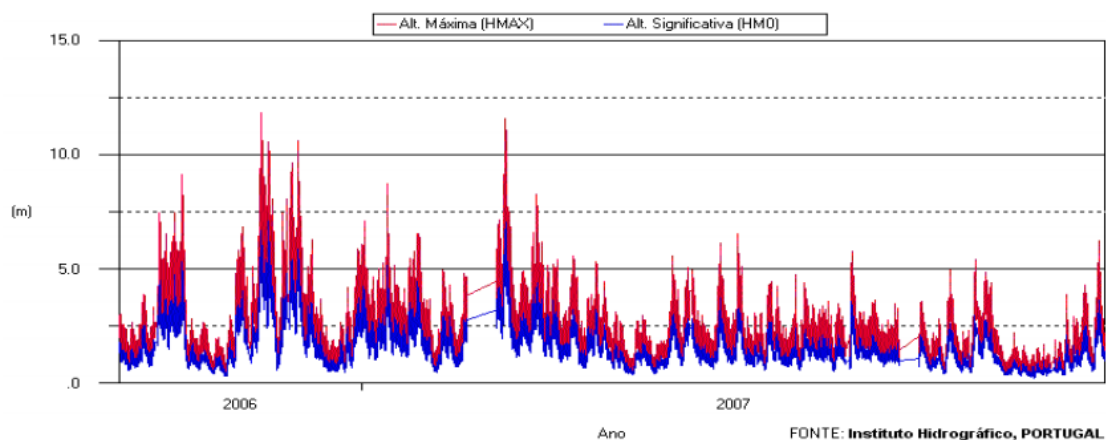


Figura 3.11– Agitação marítima registada pelo ondógrafo de Sines entre 3 de Outubro de 2006 a 3 de Outubro de 2007 (Fonte: Antunes, 2014).

Na Figura 3.12, pode observar-se alguns dos danos registados na duna frontal nas praias a norte da Costa da Caparica durante e após o inverno de 2006/2007.



Figura 3.12– Areal da Costa da Caparica após a tempestade no inverno de 2006/2007 (Ferreira, 2016; APA, 2006).

Em consequência, houve uma diminuição drástica da praia e duna frontal da para de S. João (Figura 3.13) e a necessidade da realização de uma intervenção de emergência para minimizar a destruição e crescente fragilidade ocasionada pela tempestade. Essa operação de emergência envolveu o reperfilamento e reforço da duna e estendeu-se a toda a praia de S. João até ao esporão EV1 da Cova do Vapor. No ano de 2007 procedeu-se a uma empreitada

de alimentação artificial e reparação da obra aderente, no qual a operação de enchimento (alimentação artificial) da praia, entre o esporão EC4 e o esporão EV1, apresentou um custo de cerca de 2 900 000 euros, onde a praia recebeu cerca de 300 000 m<sup>3</sup> de sedimentos (Veloso-Gomes et al., 2007).

Segundo Veloso-Gomes (2007), num estudo preconizado pela FEUP/IHRH, a praia recebeu apenas 1/6 do volume de sedimentos que a praia de S.João necessitava. Na Figura 3.13 evidencia-se o antes e o após intervenções na praia de S.João.



a)



b)

Figura 3.13- Situação na zona do parque de campismo: a) Situação da praia de S. João a Julho de 2006; b) Após a reparação da obra aderente e alimentação artificial – Fotografia de Setembro de 2007 (Adaptado de Veloso-Gomes *et al.*, 2007).

### 3.3.2. Sequências de tempestades no Inverno 2013/2014: A tempestade Hércules (oficialmente batizada por Christina), Brigid e a Stephanie

Entre Dezembro de 2013 a Março de 2014 a costa britânica e a parte ocidental da Europa Continental, incluindo a Península Ibérica, foram assoladas por uma intensa e persistente agitação marítima que causou consideráveis danos costeiros devido à erosão e aos galgamentos registados, em particular a tempestade Hércules que atingiu a costa portuguesa entre os dias 5 e 7 de Janeiro (Antunes, 2014).

Esta tempestade teve origem num desequilíbrio do sistema depressionário, originando uma intensa agitação marítima com ondas de 20 m de altura, com durações superiores a 22 segundos, bem como situações *run-up* com cotas máximas de galgamento (Ferreira, 2016). Na Figura 3.14 encontra-se representado o registo dos marégrafos referentes à tempestade Hércules em Portugal continental, nas estações de Cascais e de Lagos (Santos et al., 2014).

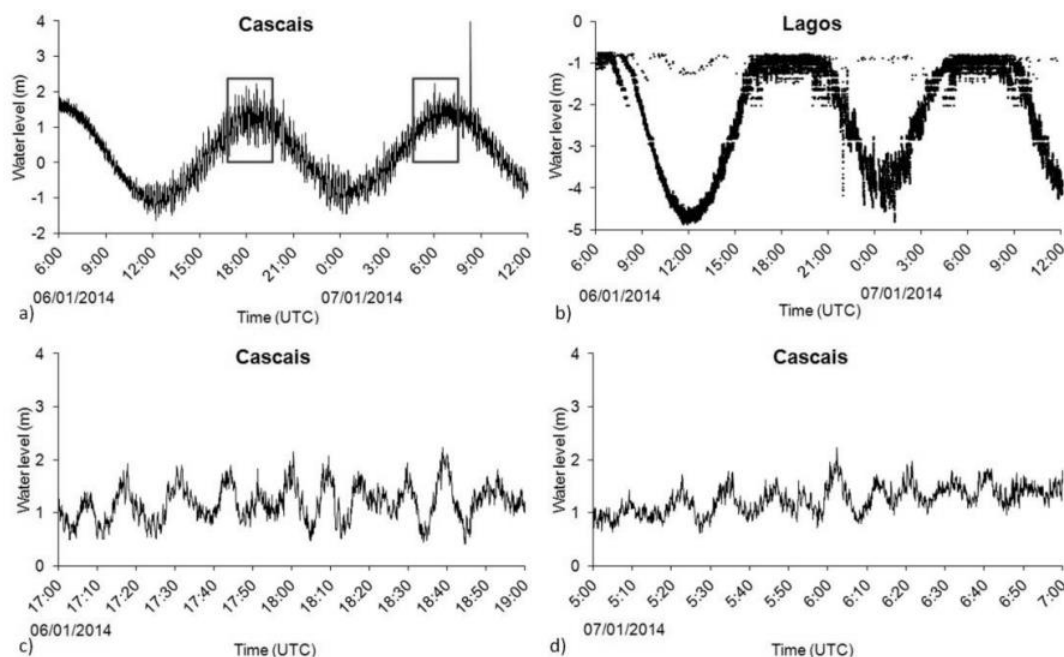


Figura 3.14- Medidor de maré gravações durante a tempestade de Hércules: a) Cascais; b) Lagos; c) e d) zoom de dados de Cascais: Para a segunda maré alta de 6 de Janeiro (c) e a primeira maré alta de 7 de Janeiro (d). (Fonte: Santos *et al.*, 2014).

Da análise dos dados da estação de Cascais verifica-se que os níveis máximos da água correspondem à segunda maré alta do dia 6 de Janeiro, às 18:40, e à primeira maré alta do dia 7 de Janeiro. Segundo Santos *et al.*, (2014) existiram períodos longos de ondulação com cerca de 10 minutos, tendo sido observados também fenómenos de “meteotsunami”.

Durante a primeira semana de Janeiro de 2014 houve um intenso centro de baixas pressões sobre o território nacional e que esteve na origem da instabilidade atmosférica registada e que se caracterizou por apresentar valores elevados de precipitação e forte intensidade dos ventos (Sousa, 2015).

Nas áreas costeiras atingidas, houve registos de obras longitudinais aderentes e quebra-mares galgados, embora, apesar da intensidade da agitação marítima, as áreas inundadas não foram significativas, quase se restringindo às praias, frentes marítimas, marinas e portos e algumas zonas costeiras baixas, incluindo edifícios comerciais e residenciais (Santos *et al.*, 2014).

Segundo Pinto (2014), a tempestade Hércules causou mais de 16 milhões de euros em danos. Na Figura 3.15, observa-se alguns dos danos causados pela tempestade na zona da Costa da Caparica.



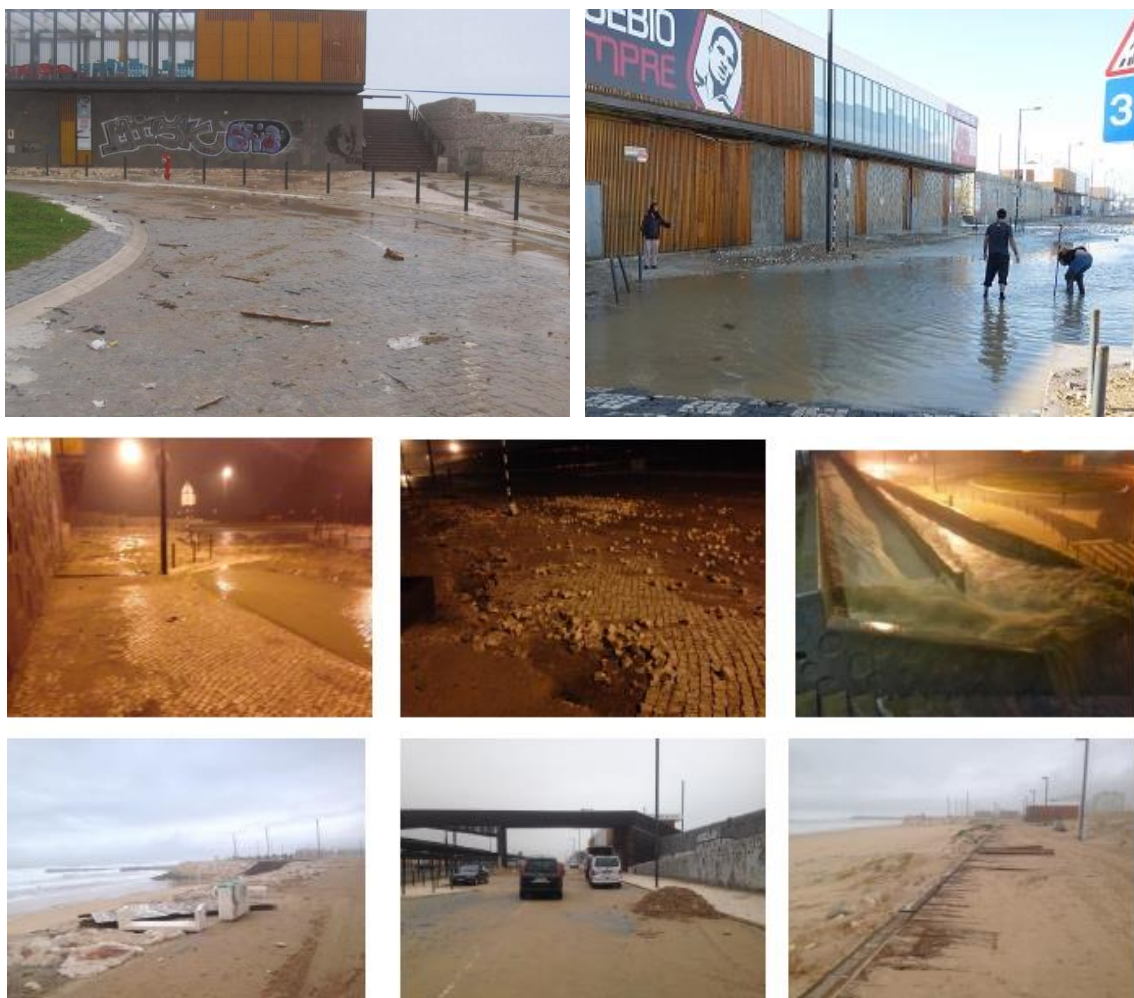


Figura 3.15– Situações de erosão, galgamentos e inundações provocados pela tempestade Hércules  
(Fonte: Ferreira, 2016; tribopirata, 2014).



#### **4. O POTENCIAL DOS VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A MONITORIZAÇÃO DE OBRAS COSTEIRAS**

A monitorização costeira de obras não é propriamente uma novidade. Seja desde a simples observação dos estragos das obras, seja com recurso à deteção remota, seja complementado ou não com dados topobatimétricos, existem muitos métodos para se monitorizar o território e obras costeiras em particular.

No entanto, face aos custos crescentes que se perspetiva em intervenções costeiras, cada vez mais há a necessidade de se encontrarem processos, expeditos e baratos, que permitam adquirir dados de uma forma eficiente e precisa para apoiar o planeamento e a gestão de obras de defesa costeira de forma a se otimizar custos de intervenção (Yang *et al.*, 2017).

O recurso a sensores instalados em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou *drone* apresentam, em algumas situações, uma clara vantagem sob os demais métodos, como sejam os obtidos remotamente ou com levantamentos topográficos diretos. Com efeito os dados obtidos remotamente ou ainda não têm a resolução adequada, como são os de satélite, ou não têm a oportunidade temporal que se precisa, como sejam os levantamentos aéreos, ou são demasiadamente morosos se quisermos informação mais abrangente, caso se recorra a levantamentos topográficos no próprio terreno (Adão *et al.*, 2017; Long *et al.*, 2016).

Precisamente, os VANT, termo utilizado para descrever e identificar uma aeronave que não utiliza um piloto fisicamente presente no seu interior, apresentam vantagens claras sobre os processos tradicionais, pois permite celeridade na recolha de informação e de grande precisão e que se for implementado com as metodologias afinadas, torna-se num método muito eficaz. O trajeto realizado por este tipo de aparelho é controlado e supervisionado à distância, com recurso a tecnologia computacional e eletrónica, sob a supervisão de alguém ou controlados por programação (Jamel & Matias, 2012).

Esclarecer que os levantamentos batimétricos estão fora do âmbito deste trabalho, pois embora seja um tema de relevante importância para a monitorização de obras costeiras, trata-se de um campo de elevada especificidade e que apresenta problemas específicos em zonas onde o sonar tradicional não dá resposta devido à baixa profundidade e por se tratar da zona de rebentação. A tecnologia conhecida mais eficaz, os sistemas LIDAR (*Light Detection And Ranging*), ainda são demasiado pesados /ou caros. De qualquer das formas também aqui se verifica que a tecnologia está a produzir sensores LIDAR cada vez mais baratos e leves, o que oferece também uma interessante vantagem aos VANT sobre os demais processos caso se pretenda recorrer a este tipo de levantamentos LIDAR (Rahnab *et al.*, 2017; Long *et al.*, 2016).

Esclarecer ainda que os aspetos vantajosos na utilização de *drones* decorrem também das evoluções tecnológicas entretanto registadas ao nível dos sensores no que respeita a qualidade e peso, e também nos programas de processamento de RGB em modelo tridimensionais e que tiveram recentemente uma evolução realmente surpreendente.

## 4.1. Monitorização de Obras Costeiras Com Recurso A Veículos Aéreos Não Tripulados

### 4.1.1. História dos Veículos Aéreos Não Tripulados

Segundo Hargrave (2005), o conceito de VANT foi utilizado pela primeira vez no ano de 1849 durante um ataque da Áustria à cidade de Veneza. Este conceito, embora diferente da definição utilizada atualmente, já se encontrava associado à utilização de veículos aéreos não tripulados, neste caso um balão. Mais tarde, passaram a ser utilizados para fins militares, nomeadamente durante a 2ª Guerra Mundial no desenvolvimento de bombas planadoras guiadas. A partir da década de 60, os VANT começaram a ser utilizados principalmente como ferramentas de investigação e desenvolvimento tecnológico, associando-se a aplicações de uso civil e de monitorização (Hargrave, 2005).

Atualmente, os VANT surgem como uma nova revolução no levantamento de dados aéreos, surgindo como uma ferramenta flexível e acessível, não substituindo a fotogrametria ou levantamentos laser (LiDAR) (Dalbello, 2013). Esta é uma ferramenta de uso rápido e acessível, sendo utilizada, essencialmente para a obtenção de dados em áreas pequenas. Na seguinte figura, é possível entender a diferença relativamente à flexibilidade e a cobertura dos diferentes VANT (Figura 4.1).

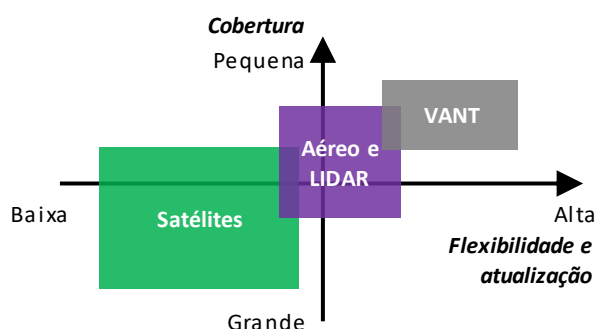


Figura 4.1– A relação entre flexibilidade e Atualização face à cobertura de diferentes VANT (Adaptado de Dalbello, 2013).

Um VANT, equipado com câmaras digitais ou um sistema LiDAR, apresenta a capacidade de fornecer dados visuais sobre a superfície terrestre a um custo baixo e de forma rápida. As possibilidades de utilização deste tipo de ferramenta são imensuráveis, nomeadamente nas áreas de cartografia, exploração mineira, segurança, serviços de monitorização continuada, entre outros (Vidal, 2013)

### 4.1.2. Classificação dos Veículos Aéreos Não Tripulados

Presentemente existem várias classificações atribuídas aos diferentes tipos de VANT e às suas finalidades. Prevê-se que as classificações destes se tornem mais definidas num futuro próximo face ao seu rápido crescimento e aplicação. Estes aparelhos podem variar em tamanho e forma e, por norma, são classificados pelo seu peso, tempo de voo, tipo de

utilização e altitude a que este opera (Rango *et al.*, 2005). Segundo a Legislação Europeia para UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), a classificação dos VANT é a seguinte (Tabela 6):

Tabela 6 – Classificação Europeia dos UAV (EASA, 2015)

| Nome   | Classificação                     | Peso (kg)    | Alcance (Km) | Altitude de Voo (m) | Duração de voo (horas) |
|--------|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------------|------------------------|
| Micro  | <i>Micro</i>                      | < 5          | <10          | 250                 | 1                      |
| Mini   | <i>Mini</i>                       | < 25/30/150* | <10          | 120/250/300*        | >2                     |
| CR     | <i>Close Range</i>                | 25-150       | 10-30        | 3000                | 2-4                    |
| SR     | <i>Short Range</i>                | 50-250       | 30-70        | 3000                | 3-6                    |
| MR     | <i>Medium Range</i>               | 150-500      | 70-200       | 5000                | 6-10                   |
| MRE    | <i>MR Endurance</i>               | 500-1500     | >500         | 8000                | 10-18                  |
| LADP   | <i>Low Alt. Deep Endurance</i>    | 250-2500     | >250         | 50-9000             | 0,5-1                  |
| LALE   | <i>Low Alt. Long Endurance</i>    | 15-25        | >500         | 3000                | >24                    |
| MALE   | <i>Medium Alt. Long Endurance</i> | 1000-1500    | >500         | 5-8000              | 24-48                  |
| HALE   | <i>High Alt. Long Endurance</i>   | >2500-5000   | >2000        | >20000              | >48                    |
| Strato | <i>Stratospheric</i>              | >2500        | >2000        | >20000              | >48                    |
| EXO    | <i>Exo-stratospheric</i>          | TBD          | TBD          | >30500              | TBD                    |
| UCAV   | <i>Unmaned Combat AV</i>          | >1000        | +/-15000     | 12000               | +/-2                   |
| LET    | <i>Lethal</i>                     | TBD          | 300          | 4000                | 3-4                    |
| DEC    | <i>Decoys</i>                     | 150-500      | 0-500        | 50-5000             | >4                     |

\*Alguns valores variam consoante a legislação nacional

Para esta dissertação, apenas têm relevância as três primeiras classificações dos VANT, nomeadamente os *Micro*, *Mini* e *Close Range*. Alguns são parecidos com aviões de asa fixa, outros são similares a pequenos helicópteros e, ainda alguns assemelham-se a pássaros ou outros animais. As suas dimensões podem ser bastante variáveis, podendo ser pequenos o suficiente para caberem dentro de uma mochila ou ainda menores para poderem pousar num dedo da unha. O número de motores num VANT tem influência principalmente na força de sustentação do mesmo ou na sua estabilidade em voo. Segundo Demolinari (2016), um drone com 3 ou 4 motores apresentam força de sustentação menores que os com 6 ou 8 motores, assim um hexacóptero consegue sustentar cargas maiores que de um quadcóptero, por exemplo, podendo suportar uma câmara fotográfica mais pesada.

Segundo Demolinari (2016), os VANT podem ser classificados consoante as suas características, relativamente ao seu tipo de sustentação como se pode compreender na Tabela 7:

Tabela 7 – Classificação dos VANT segundo o seu tipo de sustentação (Fonte: Demolinari, 2016)

| Sustentação  | Número de Motores | Estrutura          | Motores           | Controlo                    | Sensores                 |
|--------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Asa Fixa     | Variável          | Planadores         | -                 | Rádio Controlados Autónomos | GPS Ultra-som Altimetria |
|              |                   | Jacto de propulsão |                   |                             |                          |
| Asa Rotativa | 3                 | Tricóptero         | Isolados Coaxiais |                             | Câmaras Lasers           |
|              | 4                 | Quadcóptero        |                   |                             |                          |
|              | 6                 | Hexacóptero        |                   |                             |                          |
|              | 8                 | Octacóptero        |                   |                             |                          |

#### 4.1.3. Vantagens e Desvantagens dos Veículos Aéreos Não Tripulados

Face aos meios convencionais existentes, as vantagens presentes na utilização dos *drones* no sector de monitorização e obtenção de dados são óbvias, nos quais, segundo os autores Pajares (2015), é uma tecnologia com uso crescente e uma alternativa de baixo custo à fotogrametria aérea clássica com voos tripulados.

Além de realizar os tradicionais levantamentos fotogramétricos, serviços de mapeamento de áreas de risco, agrícolas e monitorização de locais de risco, estas figuram-se como sendo soluções adequadas e eficientes do ponto de vista do seu custo (Paiva, 2015; Yang *et al.*, 2016).

No entanto, apesar de ser uma tecnologia em constante desenvolvimento e evolução, apresenta algumas limitações. Relativamente às suas desvantagens, podemos enunciar as seguintes (Marnoto, 2013 *cit. in* Vidal, 2013; Paredes, 2015):

- Apresenta uma grande distorção geométrica, dificultando as correções de imagem;
- Apresentam elevada dependência das condições meteorológicas, podendo apenas em situações de pouco vento (vento inferior a 15-20 km/h) e sem precipitação;
- São aconselháveis bastantes sobreposições (>60% para as sobreposições transversais e > 80% sobreposições longitudinais);
- A autonomia de voo é baixa (<30 minutos por operação) e apenas funciona a baixas altitudes;
- Necessita de uma elevada quantidade de dados para pré-processamento (muitos dados fotogramétricos);
- Cobertura estreita de cada imagem.

Em termos de vantagens na utilização de drones são apresentadas as seguintes (Marnoto, 2013 cit. in Vidal, 2013; Paredes, 2015):

- As operações de obtenção de dados, desde o planeamento das missões à execução das mesmas, são de maior rapidez face aos meios convencionais;
- O processamento de resultados, nomeadamente a geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e ortomosaicos são de baixa duração;
- Estes podem ser utilizados em situações de alto risco ou em locais de difícil acesso;
- Apresenta uma relação qualidade/custo bastante positiva;
- Maior segurança (acidentes com consequências menores);
- Possibilidade de imagem em direto, permitindo a monitorização em tempo real;
- Apresenta uma aplicabilidade infundável em diversas áreas.

#### **4.1.4. Legislação Europeia e Nacional**

##### **Legislação Europeia**

A utilização de aeronaves civis não tripuladas está a ter incrementos substanciais, sendo que a sua operação desregulada pode, em algumas situações, ser suscetível de afetar a segurança operacional da navegação aérea, bem como a segurança das pessoas e bens à superfície ou até mesmo à utilização para a prática de atos ilícitos (ANAC, 2016).

A nível europeu, segundo Clarke & Moses (2014), o crescimento e evolução deste tipo de tecnologia apresenta pressões diretas sobre os governos quanto à necessidade de formulação de legislação específica face a múltiplas aplicações que este tipo de aparelhos podem ter.

Em países como o Reino Unido (RU) e Espanha, já existe legislação para regular a utilização dos VANT. A nível do Reino Unido, segundo a *Civil Aviation Authority* (CAA) (2016), os VANT encontram-se categorizados em duas classes, nomeadamente os que se destinam para actividades recreativas e para fins comerciais. Para a finalidade comercial, estes podem ser divididos por peso inferior a 7 kg e superior. Os VANT de peso inferior a 7 kg são permitidos com algumas condicionantes, nomeadamente (CAA, 2016):

- i. A sua utilização em espaço limpo e consequente permissão da CAA;
- ii. O aparelho tem que se encontrar a pelo menos 500 metros do operador;
- iii. Este tem que estar à distância de 150 de qualquer cidade ou vila;
- iv. Estar a pelo menos 50 metros de pessoas, veículos ou estruturas;
- v. Garantir que a carga no aparelho encontra-se segura e estável;
- vi. O plano de voo deve estar em concordância com a legislação municipal e permissão da CAA.

Em Espanha, no ano de 2014, foi dado um passo importante na formulação e aplicação de legislação específica na utilização de VANT. Segundo o *Real Decreto-ley* n.º8 (2014), há a distinção entre os diferentes tipos de VANT, sendo categorizados em menos de 2 kg, até 25 kg

e superior a 25 kg. Face a este novo regulamento, todos os VANTs que apresentem um peso inferior a 25 kg não necessitam de estar registados no registo de matrículas de aeronaves.

### **Legislação Nacional**

A nível nacional, surgiu o Regulamento n.º1093/2016 da Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) publicado no Diário da República a 14 de Dezembro de 2016. Este regulamento define as condições necessárias para a realização de operações aplicáveis à utilização do espaço aéreo por aeronaves civis pilotadas remotamente. Este regulamento apresenta em consideração as normas aplicáveis à organização do espaço aéreo, presentes no Regulamento de Execução n.º932/2012, da Comissão de 26 de Setembro de 2012.

De realçar que o presente Regulamento define condições aplicáveis à utilização do espaço aéreo independentemente da atividade que se pretende realizar ou da finalidade de utilização destas aeronaves (ANAC, 2016). No âmbito deste regulamento, excluem-se as aeronaves do Estado e as operações de sistemas de aeronaves civis pilotadas remotamente em espaços fechados ou cobertos.

O Artigo 3.º do Regulamento n.º1093/2016 define 10 regras gerais na operação face à utilização de VANT civis (ANAC, 2016):

1. Só podem voar até uma altitude máxima de 120 metros a contar da superfície e a sua realização apenas pode ocorrer em períodos diurnos;
2. As aeronaves pilotadas remotamente não podem operar perto de aeroportos ou aeródromos;
3. Têm de dar prioridade de passagem às aeronaves tripuladas;
4. As aeronaves-brinquedo, pilotadas remotamente e com peso inferior a 250 gramas, não podem operar a mais de 30 metros de altura;
5. Devem manter uma distância segura de pessoas e bens patrimoniais para evitar danos em caso de acidente ou incidente;
6. É proibido a operação destas aeronaves sobrevoar sedes de órgãos de soberania, embaixadas e consulados, instalações militares, instalações das forças e serviços de segurança, prisões, centros educativos e locais onde decorram missões policiais;
7. É proibido sobrevoar zonas de sinistro onde decorram operações de proteção e socorro;
8. É proibido sobrevoar concentrações com mais de 12 pessoas ao ar livre;
9. Têm de voar sempre com as luzes de identificação ligadas;
10. O operador das aeronaves remotamente pilotadas não se pode encontrar incapacitado na sua aptidão física ou mental, ou sob a influência de substâncias psicoativas ou medicamentos.

Presente no Artigo 4.º do Regulamento n.º1093/2016 há a existência de algumas regras específicas de operação na utilização dos *drones*:

1. Ficam sujeitos às regras específicas de operação os seguintes:



- a) Voos nas proximidades de infraestruturas aeroportuárias civis;
  - b) Voos realizados com aeromodelos;
  - c) Voos realizados com aeronaves brinquedo;
  - d) Voos cuja realização carece de autorização expressa da ANAC;
  - e) Operações e voos com restrições.
2. O voo de uma aeronave remotamente pilotada em áreas de jurisdição militar, designadamente em áreas restritas ou em áreas temporariamente reservadas constantes das publicações aeronáuticas nacionais, incluindo na CTR das Lajes, depende de autorização da AAN.
3. Sem prejuízo do disposto no artigo 14.º, as informações relativas às infraestruturas aeroportuárias e às áreas mencionadas nos números anteriores, constam das publicações de informação aeronáutica nacionais, designadamente do IAIP Portugal e do Manual VFR.

Para a recolha de imagens aéreas, existe ainda a necessidade de obter autorização por parte da AAN, sendo que esta autorização tem em consideração não só a tomada de imagem mas também aspetos de segurança. No ANEXO C encontram-se representados os documentos para o pedido da autorização à AAN relativamente ao enunciado previamente

Com efeito, enquanto um voo tripulado antes de se iniciar o voo tem que ter aprovado o plano de voo e que é um acréscimo de garantia na segurança aérea, já nos VANT tal não acontece, sendo que é através destas autorizações, como a emitida pela AAN, que se tenta condicionar os fatores de risco que lhes possam estar associados.

Estes aspetos de segurança têm a haver, dominantemente, com o facto de poder interferir com outras aeronaves em voo, daí a razão de haver fortes condicionantes na envolvente de bases áreas militares e aeroportos comerciais, para além de outros espaços condicionados e de haver um condicionamento generalizado em termos da máxima altura em que é admissível um VANT voar.

No caso da monitorização costeira, os voos com o VANT estão geralmente confinados a uma estreita faixa e que correspondente a pouco mais que os 50 m da margem do mar e onde também existem inibições legais à execução de voos tripulados baixos salvo em situações excecionais como seja os que envolvam vigilância ou salvamento.

Por esta razão, previamente à execução destes voos de monitorização com o VANT da APA, I.P. é efetuada uma comunicação prévia à respetiva Capitania do Porto com jurisdição no local em causa, de forma a ser salvaguardado qualquer potencial conflito caso sejam acionados meios aéreos de emergência por razões de segurança.

## **4.2. Obtenção De Informação Geográfica Com Recurso A Veículos Aéreos Não Tripulados**

Atualmente, os VANT funcionam como uma nova ferramenta essencial na obtenção de dados geográficos de forma rápida e flexível. Estes auxiliam na obtenção de informação que é essencial para apoiar a tomada de decisão.

### **4.2.1. Fotogrametria e Processamento de dados geográficos obtidos por Veículos Aéreos Não Tripulados**

De acordo com Matos (2001), a fotogrametria faz o uso de modelos estereoscópicos, os quais são compostos por duas ou mais fotografias captadas por diferentes posições, cobrindo, uma elevada sobreposição (>70%) da área em comum entre fotografias. A estes modelos no geral, são utilizados pontos identificáveis nas fotografias (pontos fotogramétricos), captados por métodos topográficos clássicos ou GPS.

Antigamente, a fotogrametria apenas era realizada através de processos analógicos e acessível a um grupo de pessoas bastante restrito. Com o avanço das câmaras digitais, os processos fotogramétricos foram simplificados e com desenvolvimento dos VANT “a associação à produção de informação geográfica foi imediata, simplificando-a, democratizando-a e reduzindo, de forma substancial os custos de aquisição” (Moutinho *et al.*, 2015).

Embora as soluções comerciais para o processamento da informação adquirida seja dispendiosa e destinada para aplicações profissionais, acabam por ser mais baratas que os métodos tradicionais de fotogrametria. Entre estas soluções destacam-se vários *softwares* como o *Pix4D*, o *Agisoft PhotoScan Pro*, que, embora o seu custo, permitem uma simplificação dos processos de fotogrametria, eliminando a necessidade de um vasto conhecimento científico sobre essas técnicas e reduzindo significativamente erros na produção de informação geoespacial (Moutinho *et al.*, 2015)

Os VANT, associados a um sensor de imagem do tipo RGB (câmara fotográfica normal) e ao próprio GPS que utilizam permitem, após processamento com programas específico obter vários tipos de informações, nomeadamente:

1. Fotografias aéreas georreferenciadas;
2. Produção de Ortomosáicos;
3. Modelos digitais de terreno.

### **Georreferenciação De Fotografias Aéreas**

As fotografias da Figura 4.2 foram capturadas com o hexacopter utilizado para a realização da presente dissertação, propriedade da APA, I.P. Da combinação dos metadados das fotografias e dos dados do GPS do drone, passa-se a ter imagens com o ponto de vista da imagem georreferenciada, com referência às suas coordenadas no momento do disparo, nomeadamente a latitude, longitude e altitude, segundo um sistema de coordenadas, neste caso o WGS 84 e do momento em que a imagem foi tomada.

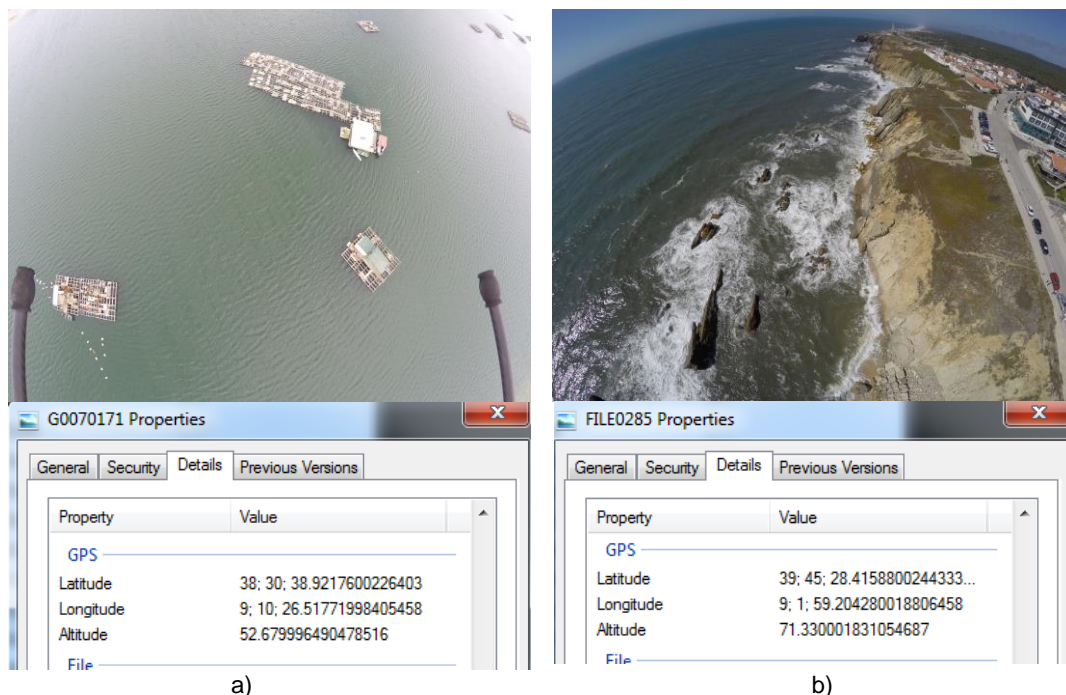


Figura 4.2– a) Levantamento cadastral das jangadas na Lagoa de Albufeira; b) Levantamento de dados topográficos na Arriba de S.Pedro Moel (Fonte: VANT da APA, fotografias obtidas em Agosto de 2017)

O outro dado essencial a ter em consideração para o pós processamento dos dados é o momento em que ocorreu o disparo, pois de outro modo não é possível correlacionar a informação da imagem com o de GPS, salvo se a câmara possuir já possui GPS incorporado e que não é o caso da utilizada para apoiar a presente dissertação.

### Produção De Ortomosaicos

Uma vez que os levantamentos fotogramétricos encontram-se georreferenciados, a produção de ortomosaicos torna-se um processo muito simples. Na presente dissertação os *software* de processamento utilizados foram as versões demos dos programas *Agisoft* e o *Pix4D*.

Segundo a Campiteli (2016), as ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos, nos quais estes são a representação fotográfica de uma região da superfície terrestre, na qual todos os elementos da fotografia apresentam a mesma escala e a mesma validade que um plano cartográfico. Na Figura 4.3 observar-se a título de exemplo uma ortofoto.



Figura 4.3– Exemplo de um ortomosaico (Fonte: Bérgamo, 2016).

De acordo com Beltrão (2017), de forma análoga, um ortomosaico é um mosaico obtido através de várias ortofotos sequenciais, com o auxílio de pontos de controlo. Após o processamento do ortomosaico, obtém-se um produto compatível com um mapa, no qual se pode realizar medições de distâncias e áreas, uma vez que este encontra-se georreferenciado segundo um sistema de projeção cartográfica. Segundo o mesmo autor, o processamento deste tipo de produtos são consideravelmente mais rápidos aquando comparados com o método cartográfico tradicional.

### **Modelos Digitais De Terreno**

A nuvem de pontos é um passo essencial no pós-processamento para se obter um Modelo Digital de Terreno (MDT) ou de Superfície (MDS) (Vidal, 2013). Um MDT (Figura 4.4) designa-se como um conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permite associar qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude. Deste modo, este corresponde a uma expressão matemática a qual é aplicado a  $R^2$  em  $R^3$  um conjunto de pontos ou linhas (Ferreira & Grifo, 2014; Matos, 2001).

Consoante terminologias mais atuais, o MDT é um modelo numérico em que a cota é relativa apenas ao terreno, enquanto que o MDS, embora semelhante ao MDT, a cota sofre influência da vegetação e das edificações. Este tipo de modelo detalha todos os objectos acima do solo. Na seguinte figura encontra-se representado



esquemáticamente a diferença entre o MDT (linha a vermelho) e o MDS (linha a verde) (DronEng, 2016; Carmagos *et al.*, 2015 ).

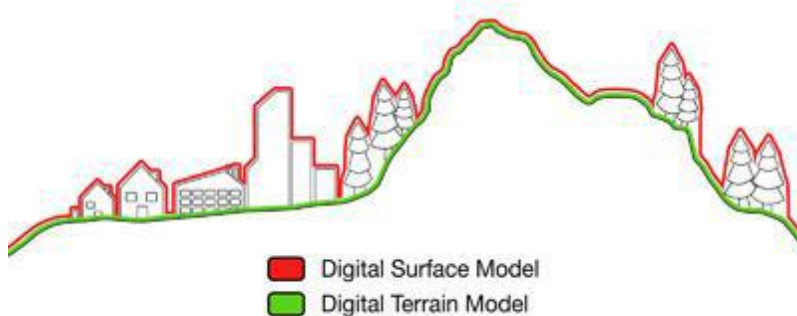


Figura 4.4– Diferença esquemática entre Modelo Digital de Terreno e Modelo Digital de Superfície (Fonte: ComputaMaps, 2013)

O MDS detalha todos os objectos (edifícios e vegetação), enquanto que o MDT detalha apenas o terreno. O MDT é gerado através de um processo de filtragem, por meio de algoritmos e de forma automática do software de processamento, do MDS (DronEng, 2016). Na Figura 4.5 observa-se a diferença entre o MDT e o MDS da arriba de Água de Madeiros, gerados pelo *software* de processamento Pix4D.

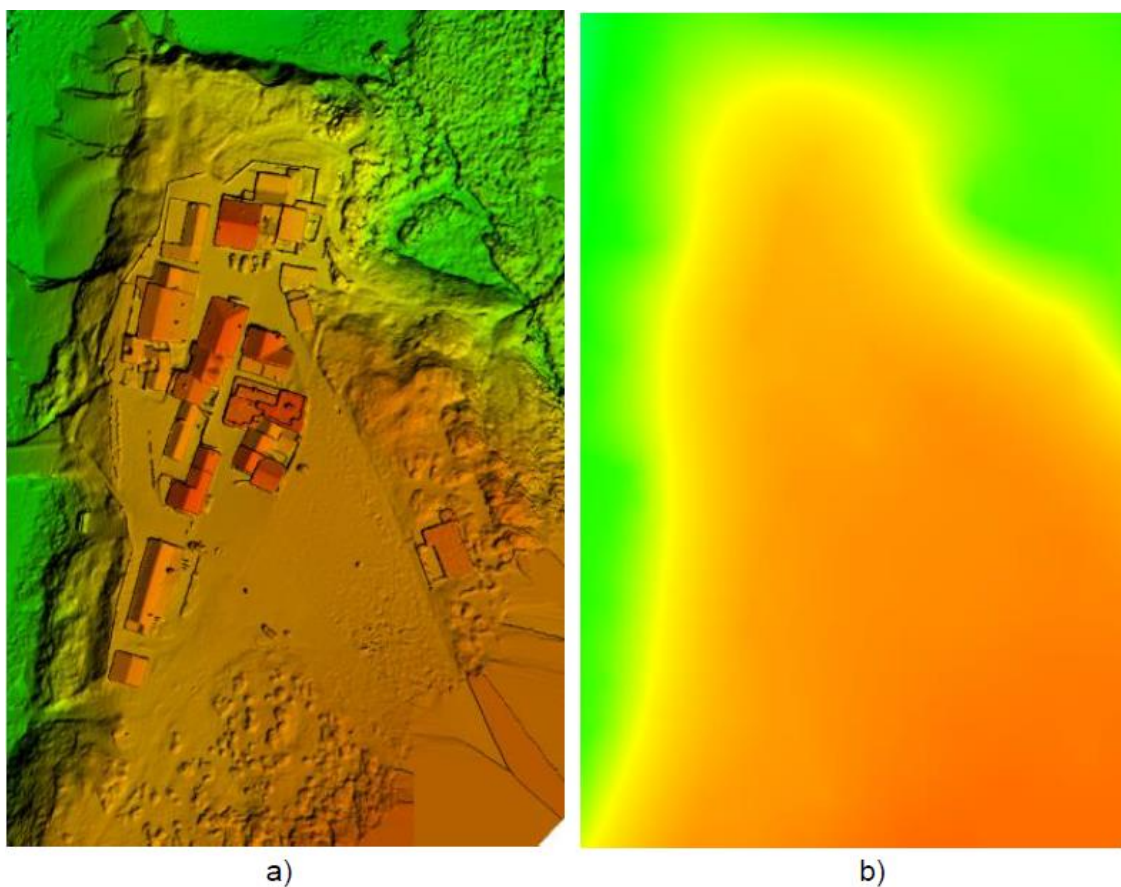


Figura 4.5 - Diferença entre o MDS e o MDT obtido para a arriba de Água de Madeiros: a) Modelo Digital de Superfície; b) Modelo Digital de Terreno (Modelos obtidos pelo autor em Agosto de 2017)

Estes modelos, face aos avanços tecnológicos dos *softwares* de tratamento de imagem, possibilitam a formulação de MDT de elevada precisão, tanto horizontalmente como verticalmente (Benassi *et al.*, 2017). Segundo Paredes (2015), esta elevada precisão deve-se à identificação automática de padrões de semelhança nos levantamentos fotogramétricos e posterior associação entre os pares estereoscópicos. Esta associação estereoscópica entre diferentes imagens, em pontos diferentes, permite a obtenção de informações do espaço tridimensional (Cavaca *et al.*, 2005), o qual possibilita o processamento de uma nuvem de pontos e um mosaico georreferenciado e ortorretificado.

Embora existam vários termos associados aos modelos numéricos, como modelo digital de elevação, modelo numérico de terreno, modelo digital de terreno ou modelo digital de superfície (Matos, 2001), para a presente dissertação foi utilizada a terminologia modelo digital de terreno para a representação dos conjuntos de dados numéricos representados num espaço tridimensional.

Este tipo de modelos são uma ferramenta essencial na monitorização de sistemas costeiros e obras defesa em particular, pois através de um espaçamento temporal entre dois modelos é possível calcular as dinâmicas instaladas, como sejam volumes de erosão ou de acreção entre dois momentos distintos.

## **LiDAR**

A *Light Detection and Ranging* (LiDAR), também conhecida como altimetria a laser, é uma tecnologia ótica de deteção remota que, através da medição das propriedades da luz refletida, consegue obter a distância e/ou outra informação a respeito um determinado objeto distante (Yan *et al.*, 2016)

O LiDAR é popularmente utilizado para produção de mapas de alta resolução, com aplicações em vários ramos, nomeadamente a arqueologia, geografia, geologia, geomorfologia, sismologia, silvicultura, mas também serve de sistema de navegação e controlo para alguns veículos autónomos (Cracknell & Hayes 2007). Os instrumentos LiDAR normalmente são transportados por satélites ou *drones*, sendo um exemplo recente da sua aplicação a deteção de ozono e aerossóis transportados por ventos (Uchino *et al.*, 2017).

O sistema LiDAR apresenta um elevado potencial em diversas áreas de aplicação, nomeadamente no auxílio ao desenvolvimento de modelos de análise do impacto de fenómenos extremos em litorais artificializados, na perspetiva da avaliação e gestão do risco de tempestades e seus impactos nas infraestruturas de defesa costeira.

O princípio de funcionamento deste sistema tem por base a emissão de um pulso laser com uma elevada frequência de repetição. Através da medição do tempo de retorno dos pulsos laser entre a plataforma e os alvos é possível estimar as distâncias dos alvos em questão (Giongo *et al.*, 2010).

Segundo o autor Wagner *et al.*, (2006), uma vantagem da utilização de sensores é que estes não dependem da iluminação do sol como uma fonte de iluminação, assim durante a obtenção e análise de dados estes não são prejudicadas por sombras ou baixa iluminação.

O sistema LiDAR é composto pelo conjunto entre um sensor laser que regista o tempo entre o sinal emitido e recebido de um determinado ponto, um recetor GPS e um Sistema Inercial de Navegação (INS – *Inertial Navigation System*), como se pode entender na Figura 4.6 (Giongo *et al.*, 2010).

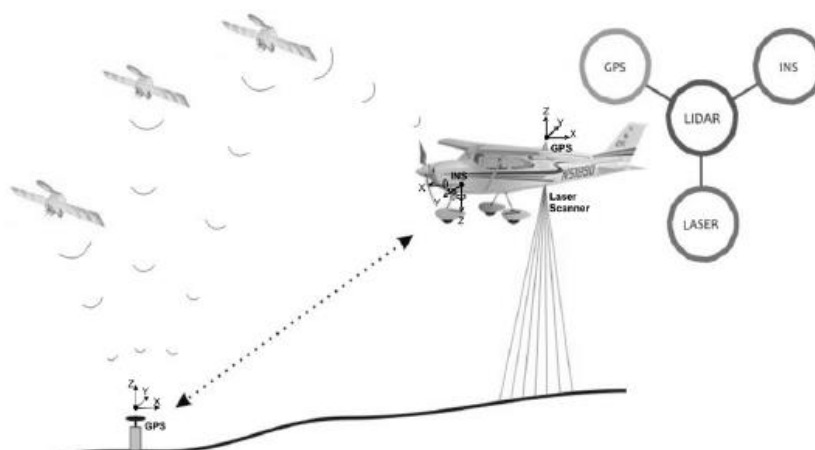


Figura 4.6– Componentes do Sistema LIDAR (Fonte: Giongo *et al.*, 2015).

### 4.3. Especificações de levantamentos para a obtenção de Modelos Digitais de Terreno

Por norma, os *softwares* de processamento de levantamentos fotogramétricos identificam automaticamente pontos comuns entre cada imagem. Para o mesmo objeto em duas imagens distintas, o sistema classifica-o como um *matched keypoint*, no qual um grupo de vários *matched keypoints* corretamente identificados vão gerar um ponto 3D (Pix4D, 2017). Assim, quanto maior for a sobreposição entre duas imagens, maior será o agrupamento de *matched keypoints* e mais precisos serão os modelos 3D. Assim, para haver a produção de um modelo preciso, associado a um erro relativo baixo, a sobreposição entre os levantamentos deve ser bastante alta (>70%) (Molg & Bolch, 2017; Ajayi *et al.*, 2017).

A correta georreferenciação do modelo, associado a um erro absoluto baixo, pode ser alcançada através da utilização de pontos de controlo (por norma, obtidos com GPS RTK), fotografias georreferenciadas com GNSS ou, se possível, a combinação de ambos (Angelats & Navarro, 2017).

Como argumentado por Leitão *et al.*, (2015), a altitude de voo é um dos principais fatores que determinam a escala e a precisão da nuvem de pontos, estando esta diretamente relacionada com o Ground Sample Distance (GSD) da superfície mapeada. Portanto, espera-se que levantamentos a uma altitude baixa tenha uma influência positiva na representação detalhada do modelo digital de terreno.

Para melhor se perceber os processos inerentes à fotogrametria convém ter presente alguns conceitos como sejam:

- **Overlap (frontal overlap)**: Área comum entre duas fotos sucessivas, realizadas numa mesma linha de voo (Figura 4.7);
- **Sidelap (sideoverlap)**: Área comum entre duas fotos em linhas de voo adjacentes / paralelos (Figura 4.7);
- **Ground sample distance (GSD)**: É a distância entre dois centros de pixels consecutivos medidos no chão. Quanto maior o valor da imagem GSD, menor a resolução espacial da imagem e os detalhes menos visíveis (Pix4D, 2017);
- **Fotografias verticais**: Imagens capturadas por uma câmara apontada em direção do nadir, ou seja, significa que o eixo da câmara (direção da lente) é perpendicular ao chão / objeto, como se pode observar na primeira imagem da Figura 4.8;
- **Fotografias oblíquas**: Imagens capturadas em que o eixo da câmara fotográfica não é perpendicular ao chão / objeto (Figura 4.8).

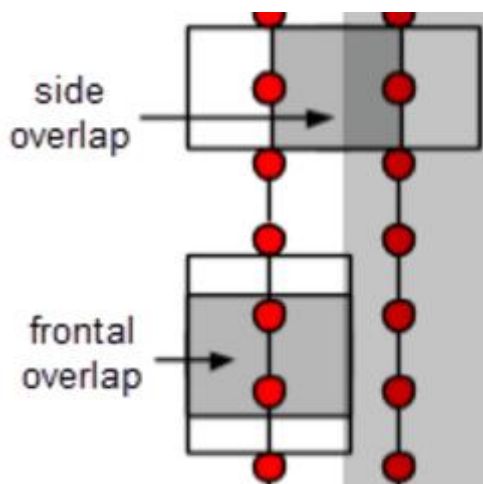


Figura 4.7 – Representação esquemática dos conceitos de *Overlap* e *Sidelap* (Fonte: Pix4D, 2017).

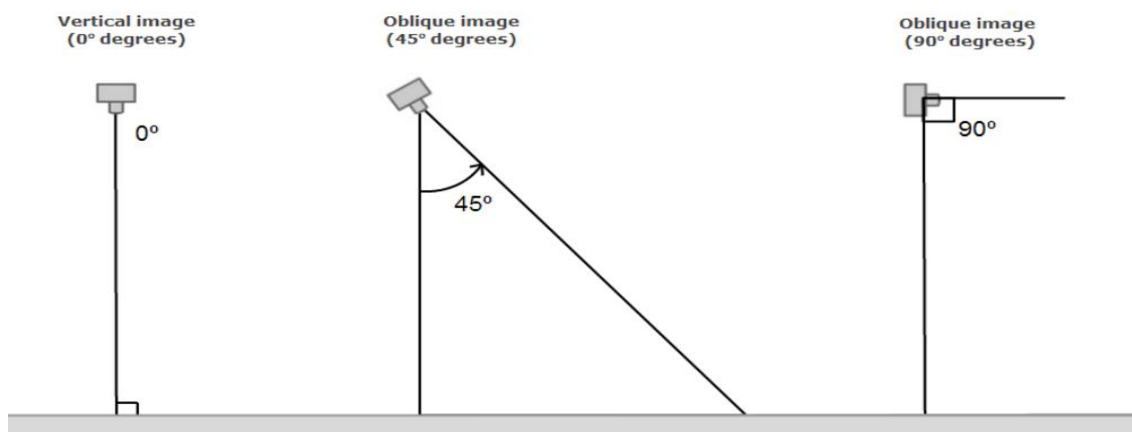


Figura 4.8– Fotografia vertical e fotografias oblíquas (Fonte: Pix4D, 2017).

Os promotores do *software Pix4D* (2017), recomendam um *overlap* de pelo menos 75% e um *sidelap* de 60% para efetuar modelos de terreno com qualidade. Embora, Ajavi *et al.*, (2017) e Leitão *et al.*, (2015) argumentaram que um *overlap* superior a 60% é o suficiente para uma



elevada redundância na identificação de pontos, o que melhora a precisão 3D da nuvem de pontos e reduz as distorções nas ortofotografias.

A empresa Pix4D (2017) sugere que as fotografias sejam obtidas num planeamento de voo com um padrão de grade regular, no qual a câmara fotográfica seja mantida a uma altura constante relativamente ao terreno de forma a garantir um GSD (*Ground Sample Distance*) constante. Na Figura 4.9 encontra-se representada o padrão de grade regular, sendo este o plano ideal de aquisição de dados fotogramétricos para o caso geral.

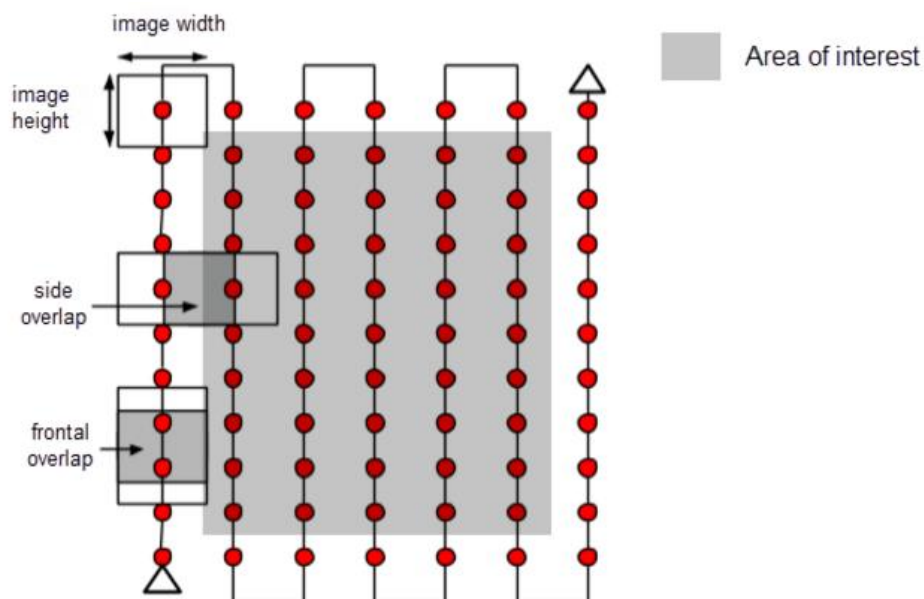


Figura 4.9– Plano ideal para a aquisição de imagens para o processamento de modelos digitais (Fonte: Pix4D, 2017).

### Floresta e vegetação densa

As árvores e a vegetação densa muitas vezes apresentam uma elevada diferença entre imagens sobrepostas devido à sua geometria complexa (milhares de ramos e folhas). Portanto, é difícil extrair pontos característicos comuns (*matched keypoints*) entre as imagens. Para obter bons resultados, os promotores do Pix4D (2017) recomendam a utilização de um plano de aquisição de imagem em grade como o descrito na seção Caso Geral, aplicando as seguintes alterações:

- Aumentar o *overlap* entre imagens para pelo menos 85% e um *sidelap* de 70%;
- Aumentar a altitude de voo, uma vez que a uma maior altitude há uma menor perspectiva de distorção e a vegetação densa apresenta melhores propriedades visuais. De forma simplificada, é mais fácil para o *software* detetar *matched keypoints* entre diferentes imagens.

### Terrenos planos com campos agrícolas

Nos casos em que o terreno é plano com um conteúdo visual homogéneo, como por exemplo campos agrícolas, é de difícil a extração de pontos comuns entre diferentes levantamentos. De forma a serem obtidos bons resultados, é recomendado utilizar o padrão de grade regular,

descrito no caso geral (Figura 4.9), aplicando as seguintes alterações (Pix4D, 2017; Pichon *et al.*, 2016):

- Aumentar o *overlap* para pelo menos 85% e o *sidelap* para pelo menos 70%;
- Realizar voos a uma maior altitude, devido à homogeneidade do terreno;
- As fotografias têm que apresentar uma georreferenciação precisa.

Como descrito por Pichon *et al.*, (2016), é necessário que a captação das fotografias para este tipo de mapeamento seja realizada a uma altura significativa, nomeadamente entre 50 a 150 metros. Sendo que, levantamentos captados a alturas superiores a 150 metros apresentam um erro significativo no processo de produção de modelos, especialmente nos diferentes declives.

### Modelação de edifícios

A reconstrução de edifícios em 3D requer um plano de aquisição de imagens diferente dos utilizados nos outros casos anteriormente referidos, como se pode observar na Figura 4.10:

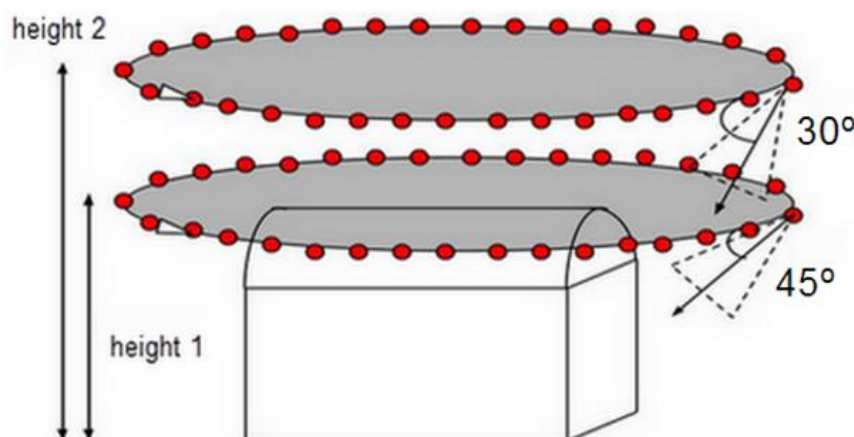


Figura 4.10– Plano ideal de aquisição de imagens para a modelação de edifícios (Adaptado de Pix4D, 2017).

Para este tipo de planos, recomenda-se a realização de um voo com um ângulo de 45 graus em torno do edifício e, posteriormente, um segundo e terceiro voo nos quais aumenta-se a altitude de voo e diminui-se o ângulo da câmara. Após a obtenção de fotografias oblíquas, recorre-se à captação de fotografias NADIR a uma altitude superior que os levantamentos anteriormente obtidos (Pix4D, 2017).

### Múltiplos voos

Parte dos *softwares* de processamento conseguem processar levantamentos fotográficos de diferentes voos. Para tal é necessário que estes levantamentos apresentem as seguintes características (Pix4D, 2017; DroneDeploy, 2017):

- Cada plano de voo apresentem suficiente *overlap* e *sidelap*;
- Entre os dois planos de voo realizados tem que haver *overlap* e *sidelap* entre ambos, como observável na Figura 4.11;
- Os levantamentos devem ser realizados nas mesmas condições atmosféricas, nomeadamente na mesma intensidade e posicionamento solar.

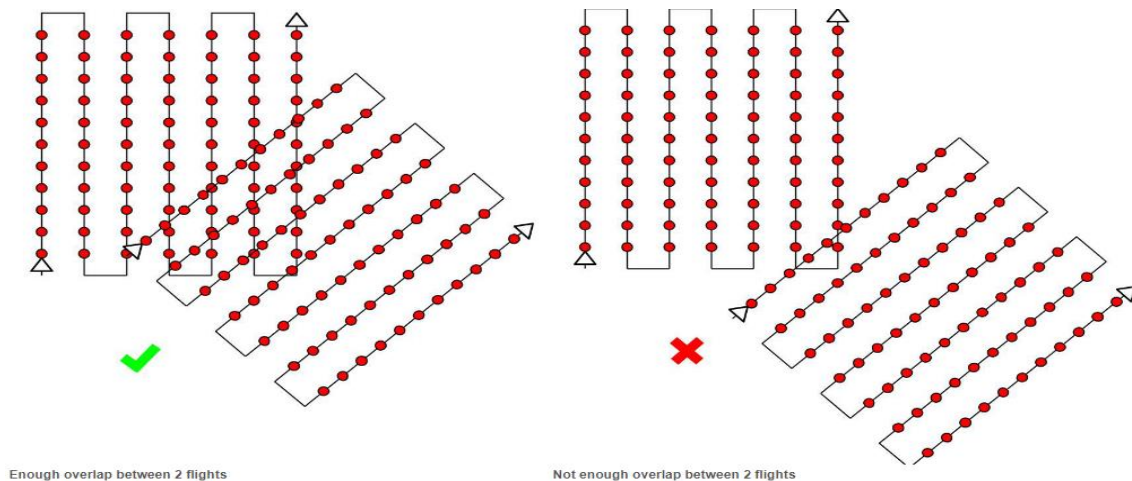
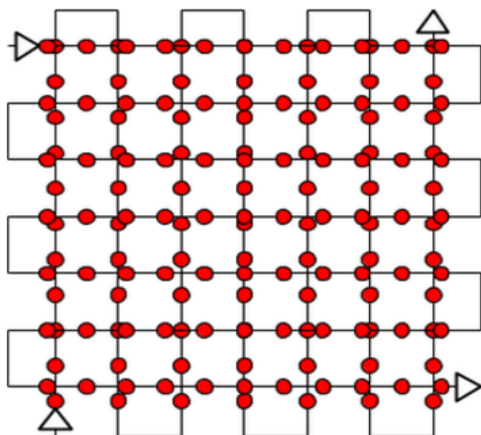


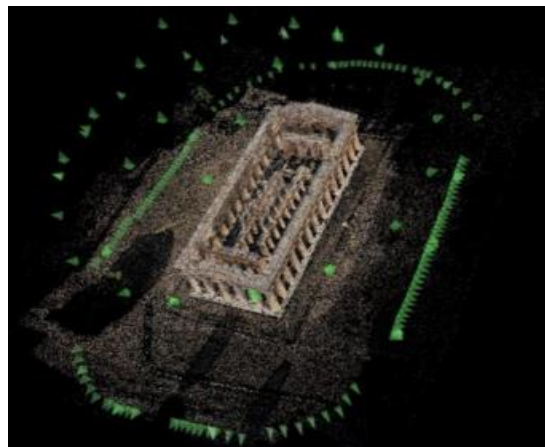
Figura 4.11– *Overlap* e *sidelap* entre diferentes planos de voo (Fonte: Pix4D, 2017)

### Reconstrução de áreas urbanas

A reconstrução 3D de áreas urbanas requer um plano de aquisição de imagens em dupla grelha de modo a que todas as fachadas dos edifícios (norte, sul, este e oeste) sejam visíveis nas imagens (Figura 4.12a) (Pix4D, 2017) ou com o plano de aquisição utilizado por Nex & Remondino (2014) (Figura 4.12b). Para que as fachadas dos edifícios sejam visíveis, as imagens devem ser capturadas com um ângulo entre 10 a 35°. Se for necessário, utilizar um conjunto de levantamentos oblíquos, juntamente com levantamentos nadir e a sobreposição entre levantamentos deve ser a mesma que no caso geral (Pix4D, 2017 Nex & Remondino, 2014).



a)



b)

Figura 4.12 – a) Plano de aquisição de imagens em dupla grelha (Fonte: Pix4D, 2017) b): Plano de aquisição de imagens utilizado por Nex & Remondino (Fonte: Nex & Remondino, 2014).

### Os Ground Control Points na modelação 3D

Os *Ground Control Points* (GCP) são pontos marcados no terreno em que as suas coordenadas 3D (longitude, latitude e altitude) são conhecidas. Estes pontos de controlo e as suas coordenadas são utilizadas para ajudar o *software* no seu processamento e no aumento da precisão do modelo obtido (Ridolfi *et al.*, 2017).

Quando utilizados corretamente, os GCP melhoram a precisão global do resultado obtido, garantindo que a latitude, longitude e altitude de qualquer ponto no mapa obtido corresponda com precisão às coordenadas reais. Este método é essencial em situações onde há a necessidade de mapeamento de precisão e não haja ajudas mais sofisticadas (Mesas-Carrascosa *et al.*, 2016).

Para inserir a informação geográfica dos GCP durante o processamento do modelo, devem ser colocados marcas no chão que possam ser visíveis na fase de processamento inicial do modelo, como a observada na Figura 4.13.



Figura 4.13– Exemplo de marca no chão, para apoiar processamento do modelo (Fonte: *Drone Deploy*, 2017).

Na Figura 4.14 pode observar-se um exemplo de uma área de interesse em que foram inseridos nove GCP, estrategicamente espaçados entre si de forma a ajudar no processamento do modelo e na sua posterior georreferenciação.



Figura 4.14 – Colocação de GCP estrategicamente espaçados entre si na área de interesse (Fonte: *Drone Deploy*, 2017).

Para se ter um levantamento de grande precisão, cada centro do GCP deve ser georreferenciado com GPS de alta precisão, como são os GPS RTK (*Real Time Kinematic*) ou



PPK (*Post Processing Kinematic*). Neste tipo de medições não deve ser utilizado aparelhos que emitam radiação eletromagnética, como são um telemóvel ou um *tablet*, pois há risco de interferência com o GPS, seja os que estão a bordo de um *drone* sejam os estacionados no terreno, como o GPS RTK ou PPK (*Drone Deploy*, 2017).

De seguida é referido um conjunto de boas práticas para uma correta aplicação de GCP (*Drone Deploy*, 2017):

- **Uso de pelo menos 4 GCP:** Para uma área de interesse pequena/média não são necessários mais que 4 GCP, os quais devem apresentar pelo menos mais de 1 metro de forma a serem visíveis durante o processamento dos dados;
- **Distribuição uniforme dos GCP:** É recomendado para mapas de tamanho médio (1,5x1,5km), devem ser utilizados 5 GCP, um na localização perto de cada canto e um localizado no centro (Figura 4.15);
- **Atenção às variações da altimetria do mapa:** Se a área que está a ser mapeada apresentar mudanças significativas na sua altimetria, deve ser colocado um GCP sobre cada umas das principais elevações presentes no mapa;
- **Obstrução dos GCP:** é necessário certificar que os GCP não se encontrem obstruídos, nomeadamente por neve, sombras, brilho ou elementos que dificultem a sua identificação no processamento do modelo.



Figura 4.15– Distribuição de um mínimo de 4 GCP na área de interesse, um GCP em cada canto do mapa e um no centro (Fonte: *Drone Deploy*, 2017).

#### 4.4. Exemplos de levantamentos efetuados com recurso a Veículos Aéreos Não Tripulados

Os *drones* estão a emergir como uma ferramenta eficaz para a monitorização ambiental, oferecendo uma alternativa viável às plataformas convencionais na obtenção de dados de elevada resolução, dado que apresentam uma maior flexibilidade operacional e versatilidade.

Estes passaram por inúmeras evoluções e são hoje uma importante plataforma de obtenção de imagens aéreas para posterior modelação e monitorização (Pegoraro, 2013).

#### 4.4.1. Aplicações em arribas

De forma a identificar os níveis da erosão da arriba *Fort Fuston* (Figura 4.16) na Califórnia, os autores Warrick *et al.*, (2017) desenvolveram um modelo que apresenta como base levantamentos fotogramétricos aéreos, nomeadamente oblíquas e históricas. Para a realização destes modelos procederam à utilização de um VANT, juntamente com técnicas fotogramétricas (*Structure-from Motion – SfM*) e levantamentos LIDAR



Figura 4.16– Área de Estudo, na qual serviu de caso de estudo para a formulação de um modelo para a documentação de diferentes níveis de erosão em arribas (Fonte: Warrick *et al.*, 2017).

Neste caso de estudo verifica-se que, através de uma sobreposição adequada de registos históricos de levantamentos oblíquos, ser possível obter-se modelos topográficos com o auxílio de ferramentas fotogramétricas, como o *Structure-from Motion* (SfM) os quais permitiram quantificar níveis de erosão e acreção ocorridos na arriba.

Destes levantamentos resultaram diferentes nuvens de pontos para cinco espaços temporais diferentes, na qual cada um apresenta milhões de pontos por nuvem, com 17 a 161 pontos por m<sup>2</sup>. Estas nuvens de pontos foram processadas com o auxílio da ferramenta SfM (disponível no *software Agisoft PhotoScan Pro*) e para o auxílio da georreferenciação dos modelos obtidos, foram utilizados seis GCP.

Através da análise entre os diferentes Modelos digitais de terreno produzidos, foi possível evidenciar e quantificar os fenómenos de erosão e acreção entre diferentes momentos, como se pode observar na Figura 4.17.

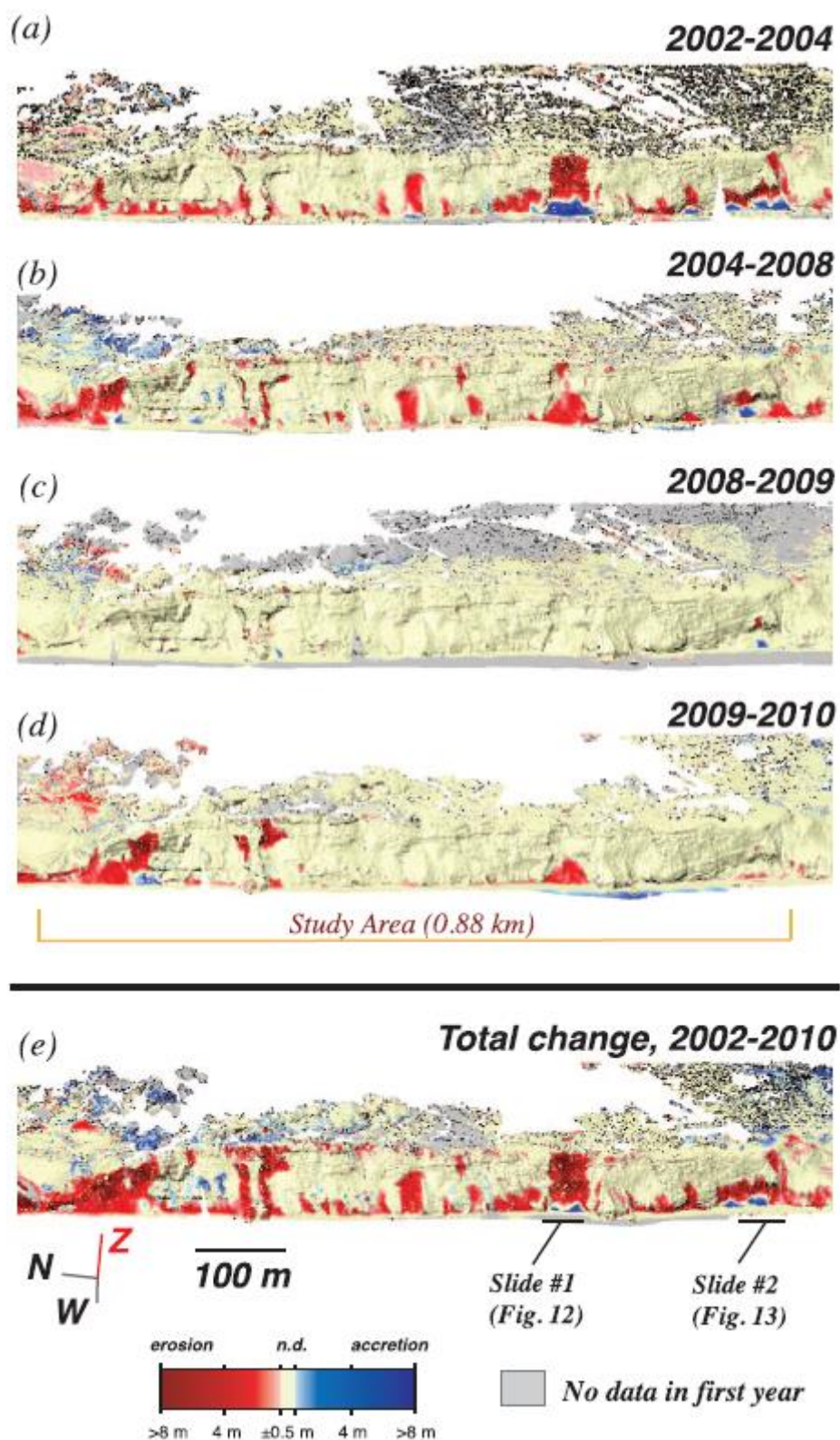


Figura 4.17 -Análise das acreções e erosões nas nuvens de pontos entre os anos de 2002 e 2010 na arribas Fort Funston (Fonte: Warrick *et al.*, 2017).

Com recurso às ferramentas do 3D Analyst do ArcGis, foram realizados diversos perfis da arribas Fort Funston para os modelos processados em diferentes momentos, como se pode observar na figura seguinte (Figura 4.18).



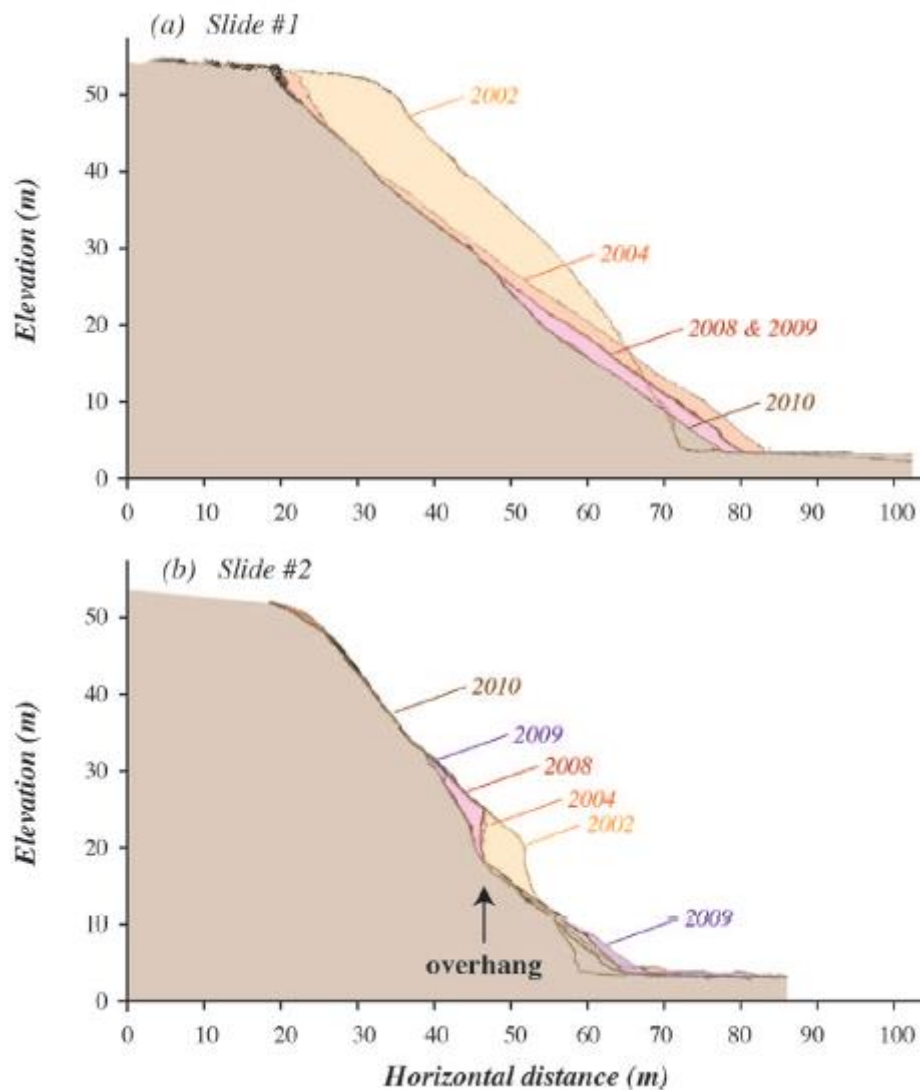


Figura 4.18 – Perfis de alterações topográficas de duas secções distintas na arriba *Fort Funston* entre 2002 a 2010 (Fonte: Warrick *et al.*, 2017).

Este caso de estudo é um interessante exemplo em como as complexas dinâmicas das arribas podem ser facilmente interpretadas recorrendo a modelos tridimensionais obtidos em diferentes momentos. Estes levantamentos revelam padrões que permitem identificar com precisão fatores como sejam os vários níveis da praia, a coesão interna da arriba, e a lixiviação dos materiais depositados no sopé da arriba devido à ação do mar. Tal método constitui um importante auxiliar na perceção dos processos responsáveis pela erosão presente nas arribas e melhor ajudar a prever a sua evolução futura para diferentes cenários de avanço das águas.



#### 4.4.2. Inspeções de barragens

As inspeções visuais realizadas nas barragens são um dos aspetos mais importantes no controlo da segurança destas, nomeadamente na identificação de sinais de deterioração. Este tipo de inspeções, por norma são realizadas com recurso a câmaras fotográficas e/ou binóculos, visto que parte dos sinais de deterioração na barragem encontram-se em zonas sem acesso direto, nomeadamente a crista e as paredes exteriores desta (Henriques & Roque, 2015).

Este caso de estudo foi realizado por Henriques & Roque (2015), no qual o tema foi a barragem da Bouça no rio Zêzere no concelho de Pedrógão Grande, que possuía três secções com sinais evidentes de deterioração, duas por fissuras e uma por derrame contínuo de água (Figura 4.19a). Para cada deterioração evidenciada realizou-se uma missão na qual obtiveram-se vários levantamentos de fotografias oblíquas. Na Tabela 8 observam-se as especificações das missões e dos levantamentos:

Tabela 8 – Dados sobre o caso de estudo realizado na barragem do Bouça (Fonte: Henriques & Roque, 2015)

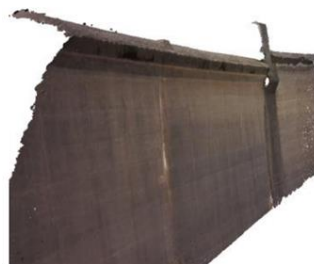
| Voo | Secção   | Distância da barragem | Tempo de voo | Número de levantamentos | Dimensão do sensor | Dimensão do pixel |
|-----|----------|-----------------------|--------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
| A   | Fissuras | 4m-9m                 | 4min 45s     | 99                      | 50 mm              | 1,3 mm            |
| B   | Fissuras | 8m-12m                | 2min 52s     | 83                      | 16 mm              | 5,0 mm            |
| C   | Derrame  | 2m-4m                 | 53s          | 26                      | 16 mm              | 5,6 mm            |



(a) Duas fissuras analisadas neste caso de estudo na barragem da Bouça



(b) Ortomosáico gerado dos levantamentos realizados para o voo A



(c) Nuvem de pontos obtida dos levantamentos oblíquos realizados para o voo A

Figura 4.19– As fissuras analisadas no caso de estudo na barragem da Bouça (Fonte: Henriques & Roque, 2015).

O programa utilizado neste caso de estudo foi o *software Visual SFM* de que resultou um ortomosaico e uma nuvem de pontos da secção em estudo (Figura 4.19b) e c) respetivamente). Para o processamento pormenorizado, os levantamentos fotogramétricos apresentaram um *sidelap* e *overlap* elevados. Da análise dos resultados obtidos quantificou-se as áreas afetadas por cálcio carbonatado e secções com cimento húmido.

#### 4.4.3. Monitorização de Obras de Defesa Costeiras – Quebra-mares

Henriques et al. (2016) desenvolveram uma metodologia que permite uma análise quantitativa da variabilidade estrutural emersa dos quebra-mares da foz do Rio Arade junto à cidade de Portimão (Algarve). A obtenção de grandezas mensuráveis na avaliação da estrutura da obra é uma mais-valia na monitorização periódica deste tipo de infraestruturas.

Os levantamentos foram realizados com recurso a um drone (*DJI Phantom 3 Pro*), no qual para a obtenção de modelos realizaram voos a 80 metros de altura, com fotografias capturadas de 2 em 2 segundos, apresentando um *overlap* de 80% e um *sidelap* de 70%. Através do *software Pix4D* foram gerados ortomosaicos (Figura 4.20) e Modelos Numéricos de Superfície (MNS), os quais foram utilizados para a realização de uma análise visual e quantitativa da estrutura das obras.

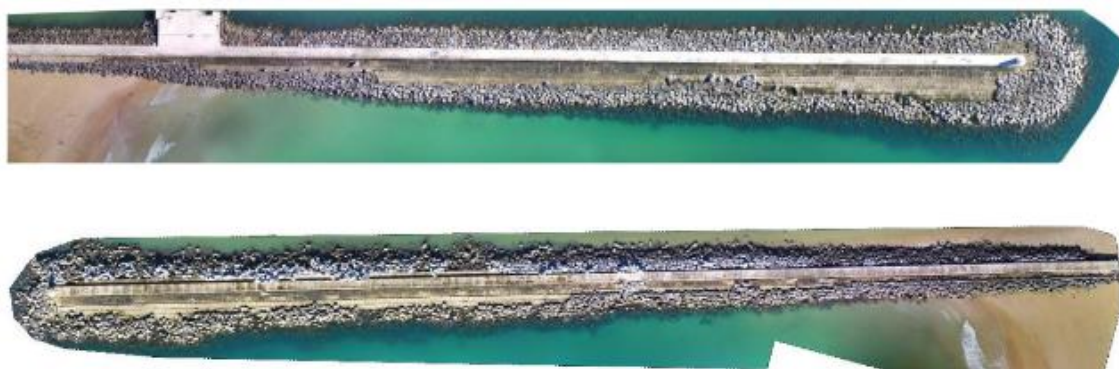


Figura 4.20 - Ortomosaicos dos quebra-mares de Portimão Poente e Nascente (Fonte: Henriques *et al.*, 2016).

Um dos procedimentos metodológicos realizados por Henriques et al., (2016) e que merece destaque na presente dissertação, foi a realização de perfis transversais dos quebra-mares através da utilização do Modelo Numérico de Superfície. Os resultados obtidos através desta abordagem permitiram observar uma elevada estabilidade da obra no intradorso, enquanto o extradorso entre a Nascente 1 e 2 evidenciaram-se diferenças significativas, como pode ser verificado na Figura 4.21.

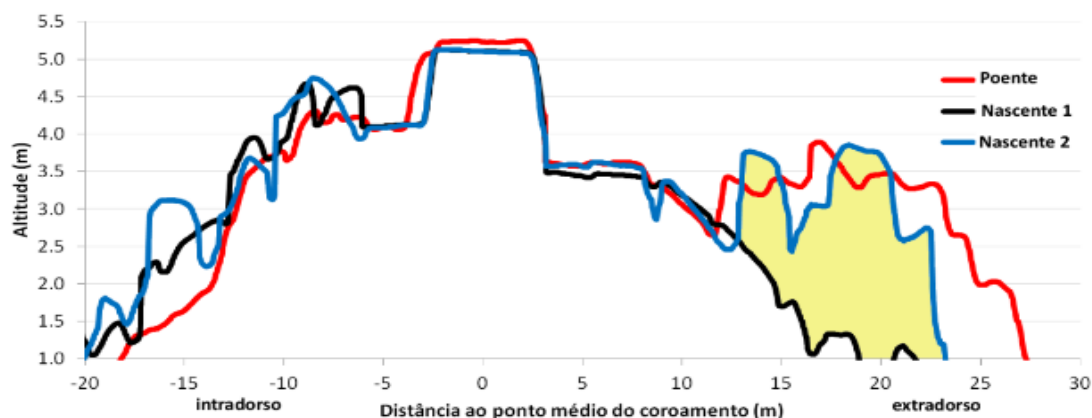


Figura 4.21– Perfis transversais dos quebra-mares da Foz do rio Arade (Fonte: Henriques *et al.*, 2016)

Este tipo de análise permitiu o cálculo aproximado de volumes que sofreram alterações no quebra-mar. Na Figura 4.21 a região do gráfico a amarelo corresponde a uma retirada artificial de blocos realizada anteriormente, com uma área de secção média de  $25 \text{ m}^2$  e numa extensão de 22 metros. Assim, Henriques *et al.*, (2016) puderam concluir que houve uma extração de aproximadamente  $500 \text{ m}^3$  de volume no extradorso do quebra-mar.

Este caso de estudo, é um exemplo da utilidade dos VANT dos *softwares* de processamento para produzirem informação de relevante interesse para apoiar o planeamento e gestão de obras costeiras e como tal apoiarem a tomada de decisões.



## 5. METODOLOGIA PARA A MONITORIZAÇÃO DAS OBRAS DE DEFESA COSTEIRA ENTRE A COVA DO VAPOR E A COSTA DA CAPARICA

A APA, I.P. é a entidade responsável pela gestão do domínio hídrico, possuindo nos seus serviços a Divisão de Obras e Segurança integrada do Departamento do Litoral e Proteção Costeira e que é o sector responsável pelo planeamento e execução de obras de defesa costeira.

A metodologia utilizada baseou-se no processamento de ortomosaicos e modelos digitais de terreno, apoiando-se nos levantamentos fotogramétricos obtidos com o VANT que surge a Figura 5.1. Os MDT obtidos com recurso a este VANT foram objeto de comparação com MDT obtidos através de levantamentos LIDAR e ortofotos por forma a se poder avaliar evoluções visuais e quantitativas das obras costeiras através de levantamentos de diferentes períodos temporais.

Os dados utilizados nesta dissertação foram obtidos com os dados e material disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente, sendo que os dados recolhidos com o VANT ocorreram durante o estágio do autor neste organismo.

O VANT utilizado para este trabalho é um hexacóptero manufaturado pela empresa *Drone Vision* com uma câmara fotográfica associada a este, no presente caso uma *GoPro Hero Black 4*, como se pode observar na Figura 5.1 e o objetivo principal da sua aquisição foi para apoiar a monitorização de obras costeiras.



Figura 5.1 – Hexacóptero com câmara *GoPro* da APA. I.P. que esteve na base dos dados recolhidos e utilizados na presente dissertação (Fonte: Fotografia obtida em Agosto de 2017).

Para este trabalho desenvolveu-se uma metodologia geral para a obtenção de diferentes tipos de MDT e ortomosaicos de sistemas costeiros e que predominantemente incidiu sobre sistemas artificiais (esporões, obras aderentes e proteção de arribas) e os naturais (no presente caso dunas e arribas). Apresenta-se ainda uma metodologia específica, focada nos casos de estudo dos esporões da Cova do Vapor (EV1 e EV2). Em ambas as situações as metodologias envolvem três procedimentos distintos e que são os antes, durante e após a realização das respetivas missões.

Os procedimentos antes da missão envolvem a seleção do local e o planeamento da missão, através da utilização do *software Mission Planner 1.3.48*, dos carregamentos das baterias (*drone*, estação de comando e óculos) e, se necessário, a sua calibração.

Os procedimentos durante a missão envolvem a escolha do local apropriado para a colocação do VANT antes de levantar voo, a ligação das baterias, passagem dos dados da missão pré-programada para o *drone*, verificação dos dados programados, os controlos do comando, preparação da câmara fotográfica, verificação dos dados do GPS e o voo propriamente dito para recolha de dados. Estes procedimentos seguem um checklist própria fundamentada para o material utilizado (ANEXO D), na qual são apresentadas, pormenorizadamente, todas as etapas que deverão ser realizadas no terreno, para que a missão decorra sem problemas.

Os procedimentos após missão compreendem a extração de dados e os trabalhos de pós processamento dos dados recolhidos durante a missão. O pós processamento envolve a georreferenciação dos levantamentos, o processamento de elementos de análise (utilizando o *software Pix4D*) e posterior estudo dos resultados e que pode também envolver a comparação de dados de outras missões e que envolve análises visuais e quantitativas.

A análise visual é composta por uma avaliação entre diferentes ortomosaicos em espaços temporais intervalados, tendo no presente caso de estudo sido feitas comparações com dados das ortofotografias dos anos de 2008, 2014-2015 e o ortomosaico obtida pelas missões realizadas com o *drone* em 2017.

Para a análise visual utilizou-se o *software ArcGis*, através da ferramenta *Image Analysis*, de forma a estudar as diferenças entre os píxeis das ortofotografias e o *software MatLab*, com recurso à ferramenta *Image Processing Design* para a identificação das faces visíveis dos blocos dos esporões. Nesta etapa também se realizou uma comparação direta entre os ortomosaicos de diferentes períodos, através da sua justaposição.

A análise quantitativa consiste na comparação entre o MDT obtido pelo LiDAR de 2011 e o MDT gerado pela missão realizada pelo *drone* em 2017. Através destes elementos, processaram-se perfis em diferentes secções, utilizando as ferramentas do *software ArcGis* e do *software Excel*.

Na mesma análise, procedeu-se ao cálculo da diferença entre os valores dos píxeis dos MDT entre espaços temporais distintos. Para tal, utilizaram-se algumas ferramentas do *software ArcGis*, nomeadamente a ferramenta *Zonal Statistic To Table*, calculando-se uma aproximação das alterações volumétricas entre ambos os modelos.

Por fim, utilizou-se o *software* de processamento automático do *Pix4D* para o cálculo de volumes e áreas de objetos identificadas no MDT de 2017.

Na Figura 5.2 apresentam-se as metodologias utilizadas, geral e específica:



## 5.1. Metodologia Geral

### 5.1.1. Procedimentos antes da realização da missão

Como referido anteriormente, este procedimento engloba o planeamento da missão realizada com recurso ao *software Mission Planner*, assim como outros processos importantes, nomeadamente o carregamento das baterias e a calibração do *drone*.

#### Planeamento da Missão

Para o planeamento da missão procedeu-se à utilização do *software Mission Planner* versão 1.3.48. Após escolhida a área de interesse, procede-se ao planeamento do voo, atribuindo vários comandos de navegação a diferentes coordenadas (latitude, longitude e altitude). As várias etapas necessárias para a realização do planeamento do voo do *drone* podem ser observadas na seguinte enumeração

1. Após a escolha da área de interesse, procede-se ao desenho de um polígono à sua volta. Para o desenho do polígono, na opção *Flight Plan*, seleciona-se a opção *Draw Polygone* (Figura 5.2a), posteriormente, *Add Polygon Point*, adicionando os vários ponto em torno da área de interesse (Figura 5.2b).

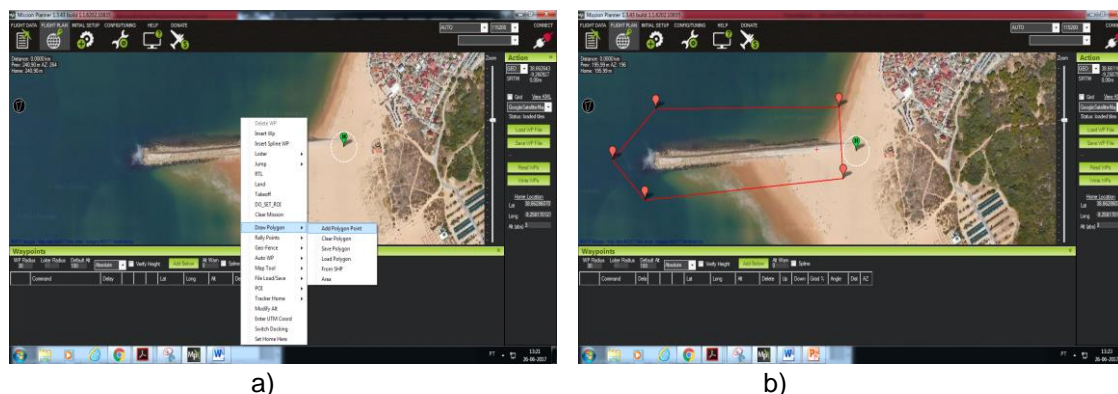


Figura 5.2 – a) Seleção da opção Draw Polygon; b) Desenho de um polígono em torno da área de interesse.

De seguida o *software*, de forma automática, indica qual o possível trajeto a ser realizado pelo *drone*. Para tal, seleciona-se a opção *Auto WP* e *Survey (Grid)*, que, consoante as seguintes características, irá otimizar o percurso a ser realizado:

- a. Características Simples de voo
  - i. Tipo de câmara fotográfica utilizada;
  - ii. Altitude de voo (m);
  - iii. Velocidade do *drone* (m/s).
- b. Características de Grelha/Sobreposição das fotos
  - i. *Overlap* (%);
  - ii. *Sidelap* (%).
- c. Características da câmara fotográfica



- i. Comprimento Focal (mm);
- ii. Largura da Imagem (pixéis);
- iii. Comprimento da Imagem (pixéis);
- iv. Largura do Sensor (mm);
- v. Comprimento do Sensor (mm).

Na Figura 5.3 encontram-se representadas a seleção das características desejadas para a realização da missão.

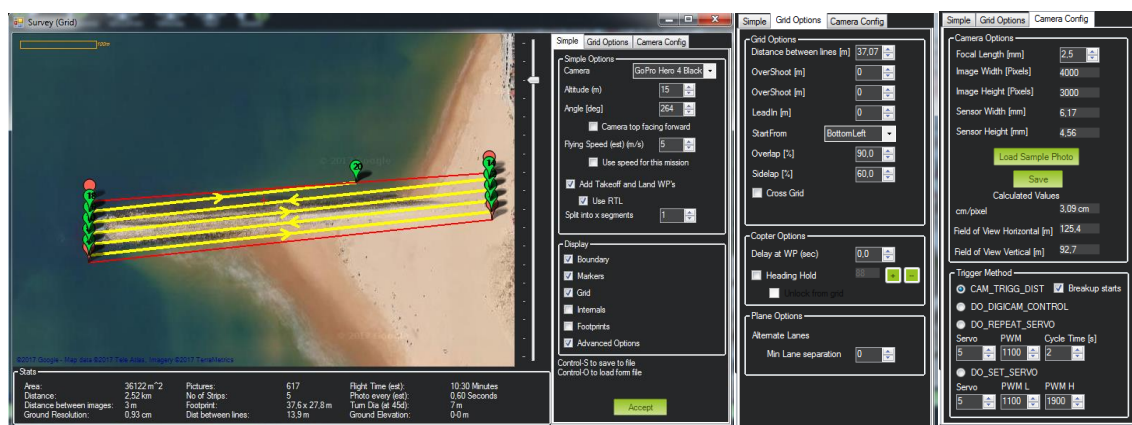


Figura 5.3 – Características Simples de Voo, Características da Sobreposição das Fotografias e Características da Câmara Fotográfica.

O *Mission Planner* estima a quantidade de fotografias que devem ser capturadas, segundo o *Overlap* e *Sidelap* desejados (%), a área (m²) da secção de interesse, o tempo de percurso do voo realizado pelo *drone* (s), a distância entre fotografias (m), entre outras informações do planeamento do voo, segundo as várias características dos equipamentos utilizados, bem como as características do planeamento desejado, como se pode observar de seguida na Figura 5.4.

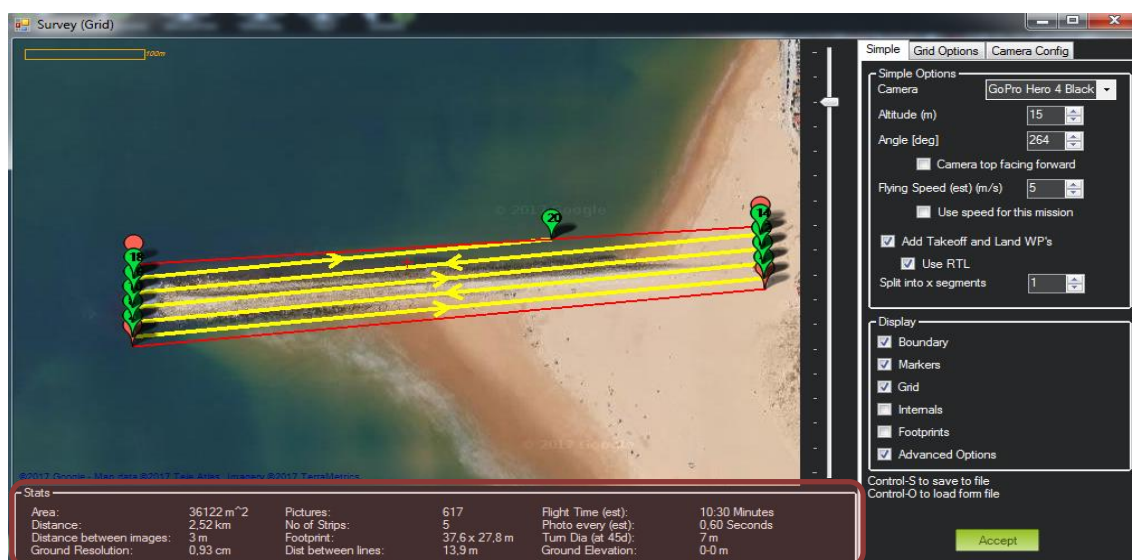


Figura 5.4 – Informações do planeamento de voo segundo as características do *drone*, da câmara fotográfica, da área de interesse, da sobreposição entre fotografias entre outras informações.

2 Como referido anteriormente, o *Mission Planner* produz o plano de voo otimizado para o planeamento da área de interesse, mostrando a distância percorrida pelo *drone*, bem como

as coordenadas (Latitude, Longitude e Altitude) dos vários *Waypoints*. O primeiro *Waypoint* deve ser um *Take-Off* (descolar) e o último *Return to Launch* (aterrar no *Waypoint* onde realizou o *Take-Off*) como se pode observar na Figura 5.5.

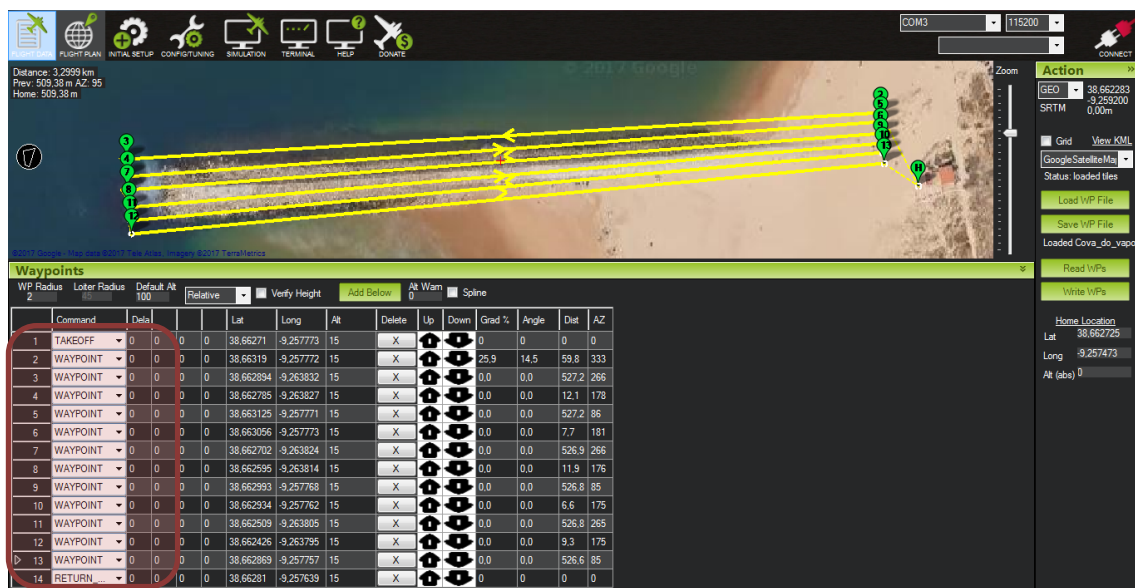


Figura 5.5 – Informações dos Waypoints realizados no planeamento de voo e a distância a ser percorrida durante o voo.

O planeamento da missão de voo em torno da área de interesse encontra-se completa, embora seja necessário rever alguns procedimentos:

- Se o primeiro *waypoint* é um *Take-Off* e o último *waypoint* um *Return to Launch*;
- A distância percorrida do *drone* durante o voo não é superior a 3,5 km (neste caso específico);
- A existência de waypoints incorrectos (fora da área de interesse);
- Verificar as altitudes dos *waypoints* (devem ser todas iguais e coerentes com a legislação aplicável);
- Verificar se no planeamento da missão não há obstáculos no percurso realizado pelo *drone*, nomeadamente antenas e/ou edifícios.

## Carregamento das baterias

As baterias dos equipamentos utilizados para a realização das missões estão divididas em três categorias, nomeadamente as baterias do *drone*, do comando (estação de controlo do *drone*) e dos óculos. As três baterias apresentam métodos e programas de carregamento distintos que se encontram explicados no ANEXO E.

## Calibração do Drone

Os *drones*, periodicamente, necessitam de uma calibração do seu compasso de forma a garantir precisão a nível dos seus sensores durante a realização da missão planeada. Alguns fatores como anomalias magnéticas, aterragens de emergência, entre outros, podem alterar a

sensibilidade dos seus sensores, mais especificamente o seu acelerómetro e o magnetómetro. Os procedimentos metodológicos para a calibração do drone encontram-se representados no ANEXO E.

### 5.1.2. Procedimentos durante a missão

Os procedimentos durante a realização da missão no terreno envolvem a ligação da câmara fotográfica e do *drone*, a passagem dos dados pré-programados do computador para o *drone* e alguns procedimentos de segurança antes da realização do voo, durante e após o voo. Estes procedimentos seguem por base a *checklist* (ANEXO D), construída segundo os equipamentos utilizados. Antes da realização da missão é necessário considerar algumas condicionantes importantes, nomeadamente:

- As condições meteorológicas, especificamente o vento e a precipitação;
- Local de *Take-Off* espaçoso, com um raio de pelo menos 4 m e afastado de edifícios, árvores e cabos de alta tensão;
- O local do *Take-Off* deve apresentar uma visão do céu desimpedida de forma a adquirir um forte sinal GPS do satélite;
- Terceiros presente na zona devem ser informados da realização da missão e do seu afastamento do local de *Take-Off*.

Os seguintes procedimentos são as várias etapas realizadas antes, durante e após o voo do *drone*, promovendo a realização de uma missão segura e, ao mesmo tempo, a obtenção de dados para a consequente modelação e monitorização da área de interesse:

1. Para que seja possível visionar o voo em direto, com recurso aos óculos de telemetria *Fat Shark*, liga-se primeiro a câmara fotográfica *GoPro* (Figura 5.6a) antes da ligação das baterias do *drone*;
2. Ligação das baterias ao *drone* (Figura 5.6b) e, após o segundo ciclo sonoro, pressionar o botão na cabeça do *drone* de forma a silenciar o aviso sonoro (Figura 5.6c);
3. Deixar o *drone* em *stand-by* durante cerca de 3 a 5 minutos de forma garantir que o GPS esteja associado pelo menos a 12 satélites;

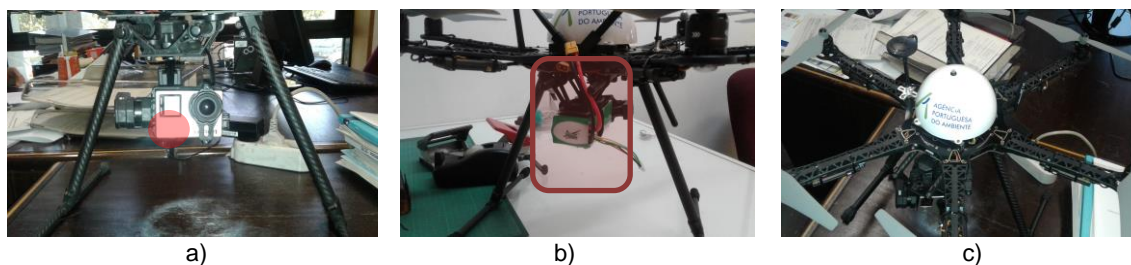


Figura 5.6 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo.

4. Conectar através da porta USB a antena de telemetria (Figura 5.7a), abrir o *Mission Planner* e carregar a missão pré-programada para o *software* (*Load WP*, no *Flight Plan*);
5. Confirmar a veracidade do plano de missão carregado no *Mission Planner* de acordo com:

- i. Todos os *waypoints* na área de interesse;
- ii. O primeiro *waypoint* é um *Take-Off* e o último *waypoint* um *Return To Launch* (Figura 5.7b);
- iii. As alturas dos *waypoints* são todas iguais e compatíveis com o tipo de missão a realizar (Figura 5.7b);
- iv. A altura de voo deve ser relativa ao *Take-Off*, de forma a não haver complicações com as alturas absolutas do terreno (Figura 5.7c).

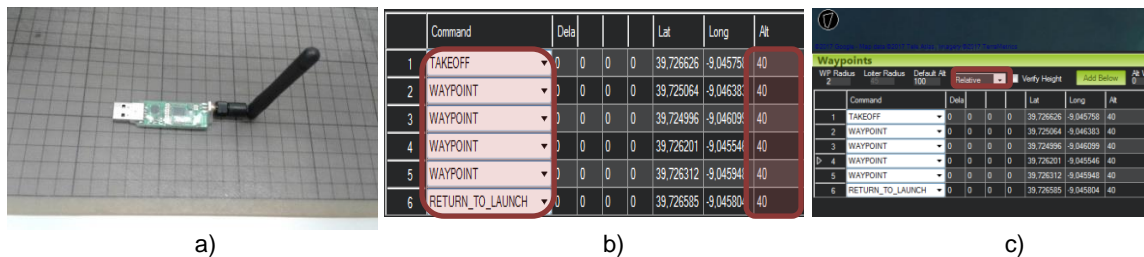


Figura 5.7 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo.

6. Conectar o *drone* ao *Mission Planner* (porta COM e, em caso de dúvida conectar com a porta AUTO);
7. No *Mission Planner*, *Flight Plan*, carregar na opção *Home Location* (Figura 5.8a), de modo ao *drone* definir automaticamente o seu novo *Home*, sendo este o local onde o *drone* se encontra em *stand-by* e no qual vai ser realizado o *Take-Off*;
8. Antes de ligar o comando do *drone* (estação de comando), colocar todos os interruptores virados para a frente (posição inativa);
9. Após ligada a estação de controlo, verificar no *Mission Planner* (*Flight Data*) se surge correspondência face à alteração dos interruptores no comando, alterando entre os botões *Loiter*, *Stabilized* e *Altitude Hold* (Figura 5.8b);

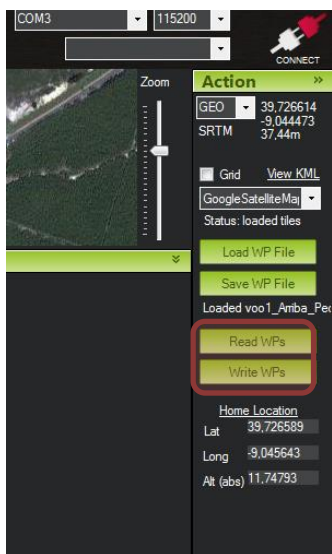


Figura 5.8 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo.

10. Confirmar no *Flight Data* se existe novamente a indicação do GPS estar em atividade com pelo menos os 12 satélites, sendo este o número mínimo para o funcionamento eficiente do GPS;
11. Passagem dos dados pré planeados da missão para o *drone*, através da opção *Write* no *Flight Data* (Figura 5.9a);



12. Para a confirmação da correta passagem dos dados pré-programados em 11), realiza-se um *Read (Flight Plan)* (Figura 5.9a), sendo que este nos vai confirmar se os dados foram passados corretamente para o *drone*. Posteriormente será repetido novamente a etapa 5);
13. Iniciar o modo de fotografia automática (Modo *MULTI-SHOT*) na *GoPro* (fotografias de 2 em 2 segundos), e tirar fotografia ao telemóvel com a aplicação *GPS TIME* (Figura 5.9b) para posteriormente se poder correlacionar a hora do GPS universal coordenado do *tracklog* do *drone* e o EXIF das imagens capturadas pela *GoPro* para posterior georreferenciação das imagens;



a)



b)

Figura 5.9 – Procedimentos a serem realizados durante a missão de voo.

14. Posteriormente o *drone* está pronto para realizar a missão, o operador deve posicionar-se na traseira do *drone* (atrás das luzes vermelhas) para que, se necessário, acionar o modo manual de maneira a que o operador tenha o controlo manual do *drone*;
15. Com o comando em *Loiter*, colocar o manípulo da esquerda para baixo e para a direita simultaneamente acionando os rotores do *drone* (Figura 5.10);
16. Dar potência de subida no manípulo da esquerda até uma altitude segura e pressionar o botão Auto para o *drone* realizar a missão planeada (Figura 5.10);
17. Após a realização da missão, caso seja necessário ajustes na aterragem, acionar o modo manual (carregar no botão Auto para baixo) e aterrar o *drone* manualmente, desviando-se de possíveis obstáculos, por exemplo fios de eletricidade;
18. Após a aterragem, desligar a câmara fotográfica e retirar a bateria do *drone*.

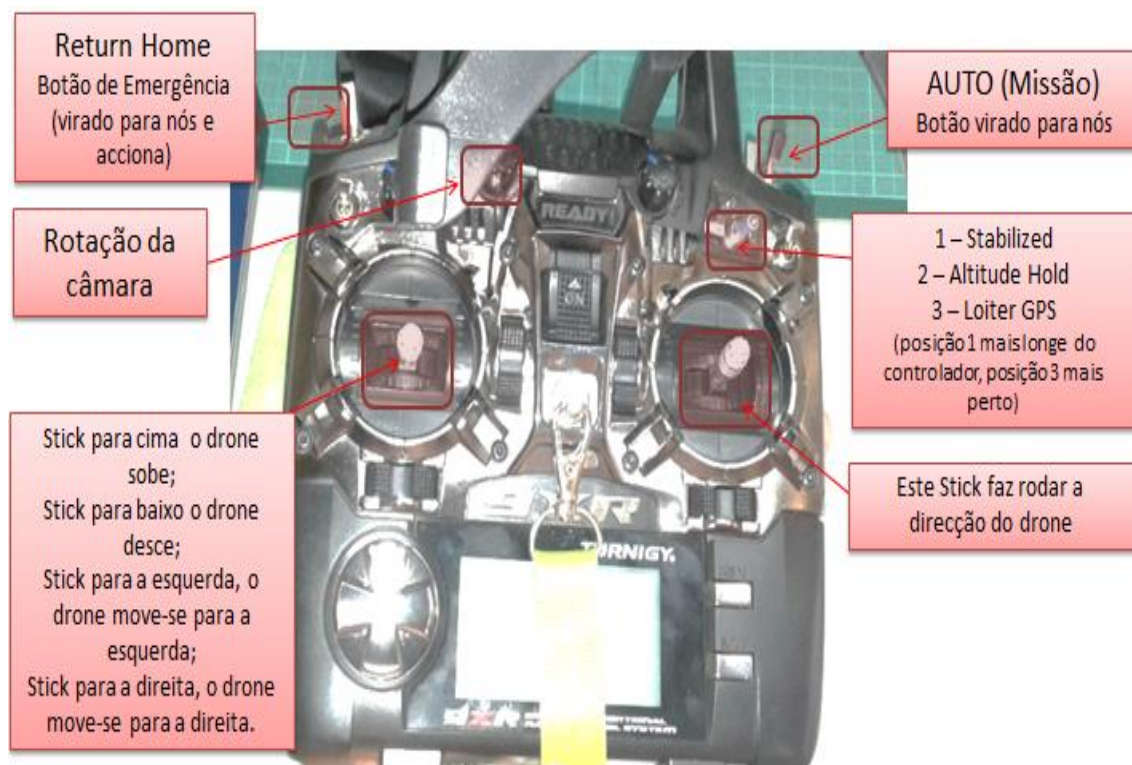


Figura 5.10 – Controlos do comando do *drone* (estação de comando).

### 5.1.3. Procedimentos pós Missão

Após a realização da missão, ou seja, o voo do *drone* e a obtenção de fotografias, procede-se à extração dos dados obtidos por estes, nomeadamente o seu *tracklog* e outras informações de voo.

#### Extração dos dados da missão

Para a extração dos dados da missão realizada pelo *drone* é utilizado novamente *software Mission Planner*. Liga-se o *drone* ao computador por via USB e após o *connect* ao *drone* no *Flight Data*, selecciona-se a opção *DataFlash Logs* e, posteriormente, a opção *Download DataFlash Log Via Mavlink*, como se pode observar na Figura 5.11.

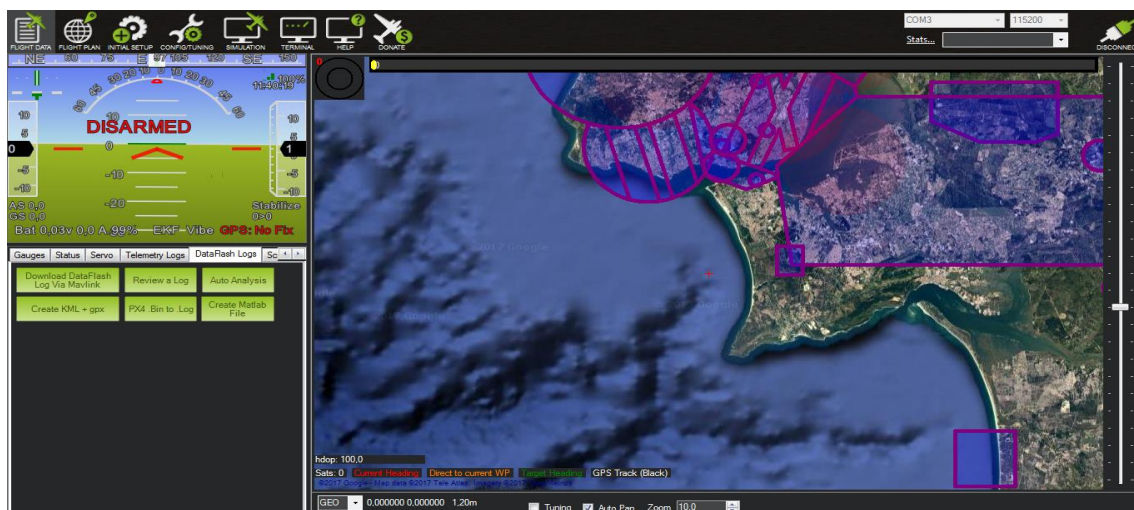


Figura 5.11 – Seleção da opção Download DataFlash Log Via Mavlink para a extração dos dados da missão realizada.

Os dados da missão que se pretende analisar são verificados, selecionando o *log* desejado e carregar na opção *Download Selected Logs* (Figura 5.12). A transferência do *log* depende essencialmente da ligação com o *drone*, bem como o tamanho do ficheiro a ser transferido. Geralmente, os dados transferidos vão automaticamente para a pasta C:\Users\User\Documents\MissionPlanner\logs.

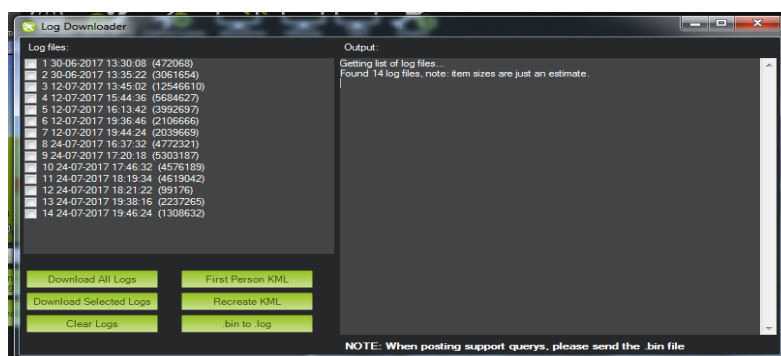


Figura 5.12– Seleção dos Logs de voo a serem transferidos para o computador.

Os dados transferidos após a extração do *log*, em norma, são três ficheiros:

1. Ficheiro KMZ;
2. *Text* File;
3. Ficheiro GPX (*Tracklog*).

O KMZ é um ficheiro que guarda as informações do trajeto realizado pelo *drone*, que pode ser visualizado através da utilização do *software Google Earth*. Este ficheiro é importante na medida em que permite comprovar que o *drone* realizou a sua missão pré-planeada na íntegra e, se caso contrário, até que *waypoint* da missão realizou. Na figura seguinte é elucidado o exemplo de uma missão realizada na praia da Pedra do Ouro em que o *drone* utilizado não realizou a missão na sua totalidade.





Figura 5.13 – Exemplo de uma missão incompleta, realizada pelo *drone* na Praia da Pedra do Ouro.

Na Figura 5.13, as linhas a preto representam o percurso realizado pelo *drone*, enquanto as linhas a azul claro representam o resto da missão pré-planeada que não foi realizada. As linhas azuis escuras, no presente caso, representa o local onde o *drone* ficou sem bateria, o que originou o acionamento automático do modo de emergência, e que por questões de segurança, leva o drone a voltar ao ponto de descolagem.

O ficheiro *text File* apresenta as coordenadas de voo pré-planeadas com o *Mission Planner*, especificamente a sua latitude, longitude e altitude.

O ficheiro GPX apresenta informações similares ao KMZ, embora o segundo seja utilizado para a visualização da missão. O GPX apresenta todas as informações do voo realizado, nomeadamente a hora associada às várias coordenadas de voo. Esta última informação é essencial para a georreferenciação das fotografias capturadas, as quais serão utilizadas para posterior modelação 3D. O GPX apresenta outras informações pertinentes, como o comportamento do *drone* face ao planeamento realizado, a altura de voo, a sua resposta ao vento, a carga da bateria, entre outros parâmetros.

## Leitura dos Logs

Para a leitura da informação dos *logs*, ou seja, os vários parâmetros do voo realizado, é utilizado o *software Mission Planner*. Para tal, seleciona-se a opção *Flight Data* e, posteriormente a opção *Review a Log*. Após a escolha do *log* que se pretende analisar, automaticamente surge um *browser* com os vários parâmetros do voo realizado. A Figura 5.14 mostra os parâmetros da altitude de voo numa missão realizada na Cova do Vapor.



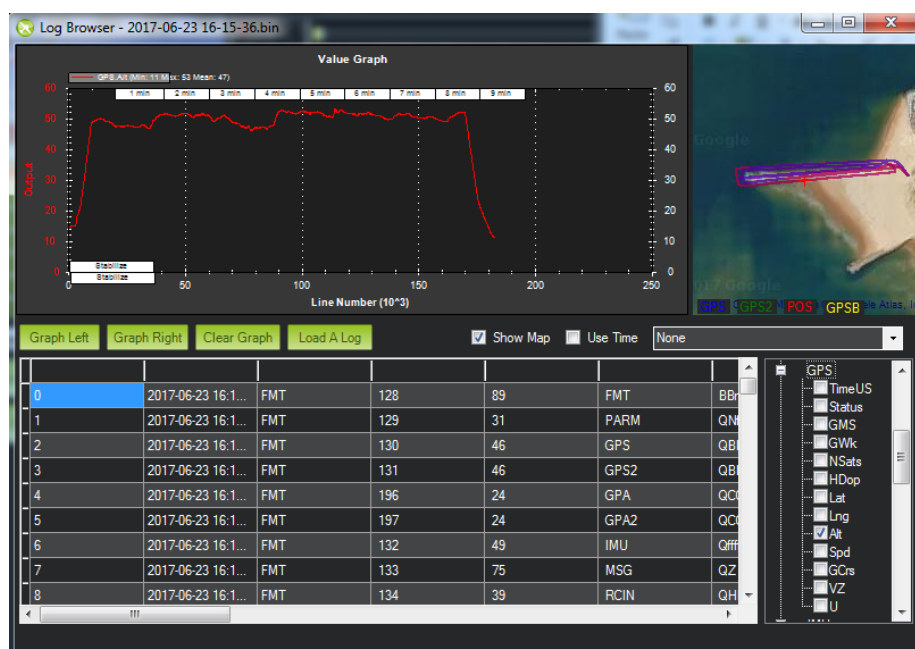


Figura 5.14– Altitude absoluta do voo realizado pelo *drone* na Cova do Vapor.

## Georreferenciação das imagens

A georreferenciação das fotografias capturadas com a câmara *GoPro* é um dos passos mais importantes na realização de modelos tridimensionais é essencial para que o *software* processe a modelação com elevado pormenor.

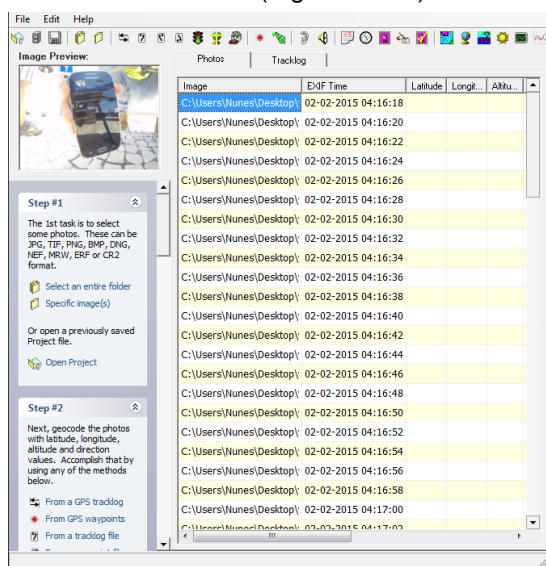
De forma simplificada, a georreferenciação é o processo de associação de coordenadas de um espaço físico a várias fotografias. Este processo pode ser aplicado a qualquer tipo de objeto ou estrutura que possa estar relacionado a uma localização geográfica, como pontos de interesse, estradas, lugares, pontes ou edifícios. A georreferenciação das imagens tem como objetivo fundamento atribuir a vários *waypoints* da missão realizada, várias fotografias com as mesmas coordenadas que o trajeto realizado pelo *drone*.

Quando uma fotografia é capturada pela *GoPro*, no seu EXIF existem várias informações sobre as características desta (data, hora, exposição, velocidade, distância de focagem, etc.), sendo que para a georreferenciação o importante é a hora (dia, hora, minutos e segundos) em que a fotografia foi capturada. Só assim é possível associar os dados do GPS (hora e coordenadas com latitude, longitude e altitude) da missão realizada e a hora em que a fotografia foi tirada e assim obter-se a georreferenciação automática do ponto de vista de cada imagem.

Para a georreferenciação das fotografias foi utilizado o *software RoboGeo 5.3.7*. Este programa associa automaticamente as fotografias da máquina com as coordenadas do GPS que tiverem a mesma hora do *tracklog* do *drone* e a hora da máquina fotográfica apresentam o mesmo horário (tempo universal coordenado). Estas podem ser facilmente georreferenciadas, no qual é associado diretamente a hora dos vários *waypoints* do *tracklog* à hora em que as fotografias foram capturadas.

A hora do *tracklog* do GPS do *drone*, por norma, vem associada ao tempo universal coordenado, em coordenadas WGS-84. À hora das fotografias vêm associado à hora da câmara, geralmente à hora local e que até pode apresentar desfasamentos com a hora real local. Assim, os EXIF das fotografias têm que ser ajustado de forma a ficarem iguais ao tempo universal coordenado. Para tal, é necessário seguir os seguintes passos:

1. Selecionar as fotografias aéreas capturadas (fotografias em JPEG) e colocá-las no *software RoboGeo*;
2. Selecionar a fotografia em que foi capturado o ecrã do telemóvel com a aplicação GPS TIME a informar o tempo universal coordenado e calcular a diferença de tempo entre o horário do tempo universal coordenado e a hora em que a fotografia foi tirada (Figura 5.15a);
3. Para o cálculo da diferença de tempo entre os dois tempos utilizar as funções *timeanddate* (Figura 5.15b)



a)

Calculate Duration Between Two Dates – Results

Start Date: Day: 2 - Month: 2 - Year: 2015  
 End Date: Day: 24 - Month: 7 - Year: 2017  
 Hour: 5 - Minute: 16 - Second: 18  
 Hour: 17 - Minute: 30 - Second: 42  
 Calculate Duration  
 From: Segunda-feira, 2 de Fevereiro de 2015, 5:16:18  
 To: Segunda-feira, 24 de Julho de 2017, 17:30:42  
 Result: 903 days, 12 hours, 14 minutes and 24 seconds  
 Alternative time units: 903 days, 12 hours, 14 minutes and 24 seconds can be converted to one of these units: 78.063.264 seconds

b)

Figura 5.15 – Etapas 1, 2 e 3, referentes à alteração do EXIF das fotografias aéreas da missão.

4. De seguida, no *RoboGeo* alterar o EXIF das fotografias da missão para o tempo universal coordenado, através da opção *Edit Time*, no qual está exemplificado na Figura 5.16;

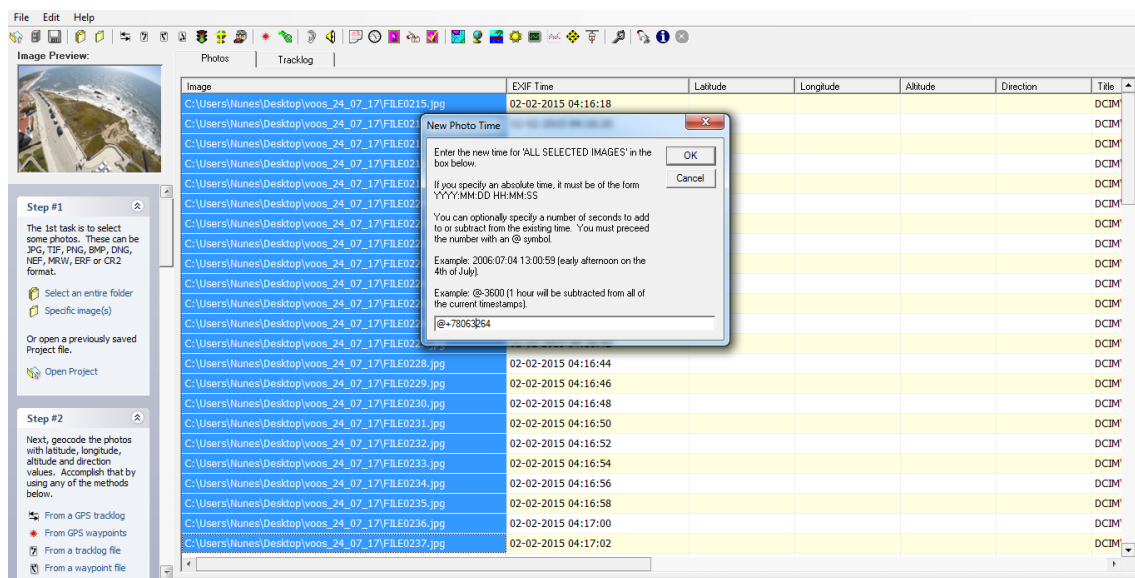


Figura 5.16 – Alteração do EXIF das fotografias para o tempo universal coordenado.

5. Selecionar o *tracklog* (GPX) extraído anteriormente referente à missão pretendida e inserir este no RoboGeo (Figura 5.17a);
6. O *tracklog* apresenta as várias coordenadas da missão realizada, onde cada *waypoint* apresenta uma hora associada ao tempo universal coordenado;
7. O RoboGeo associa as fotografias ao *tracklog* do *drone*, passando as informações das coordenadas deste (longitude, latitude e altitude) para o EXIF das fotografias com o mesmo tempo universal coordenado (Figura 5.17b).

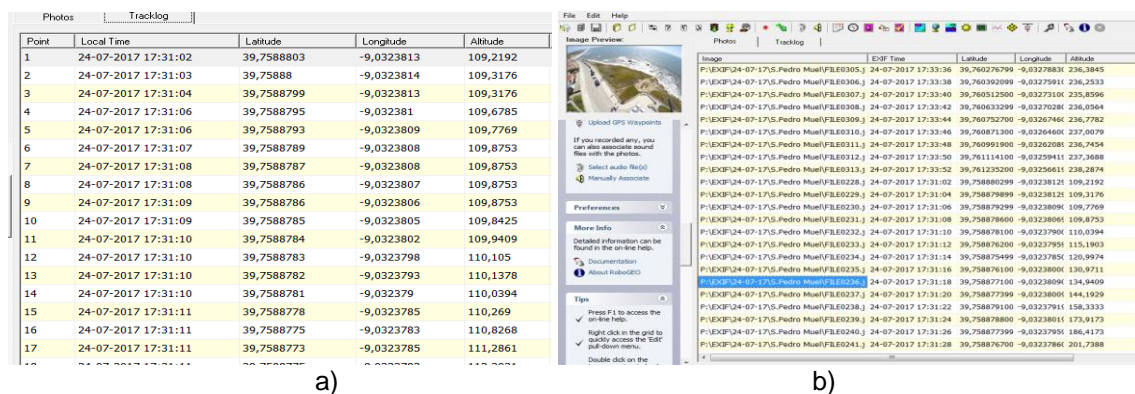


Figura 5.17– Associação das coordenadas dos *waypoints* ao EXIF das imagens com o mesmo tempo universal coordenado.

Com este procedimento as fotografias aéreas obtidas durante a realização da missão do *drone* passam a estar georreferenciadas e a estarem aptas para serem utilizadas na fase seguinte de modelação tridimensional dos dados. Na figura seguinte (Figura 5.18), observa-se uma imagem com alguns dos dados que constam do EXIF já com as coordenadas do local onde foi capturada a imagem durante a missão.

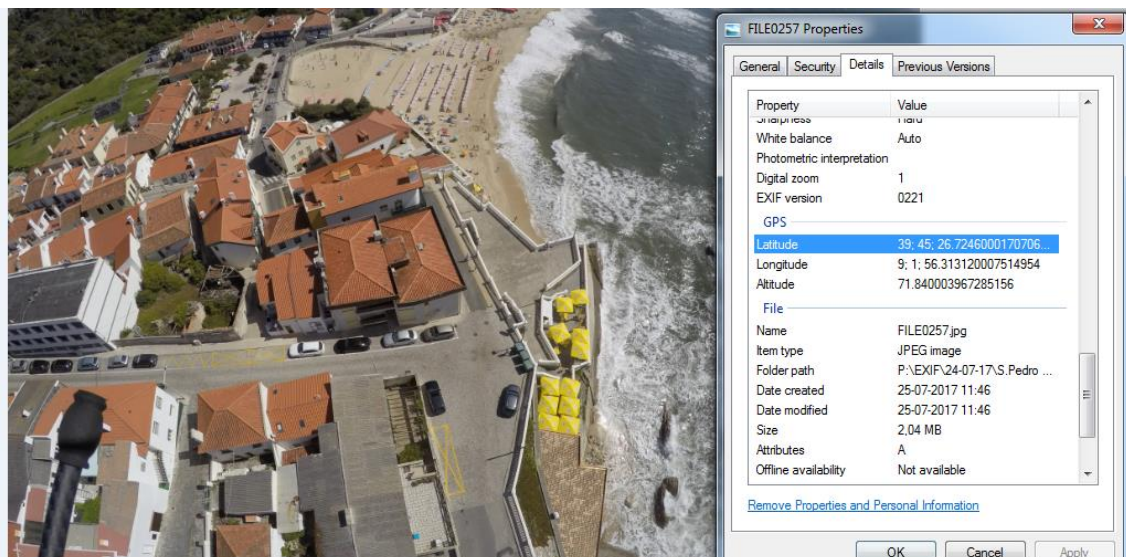


Figura 5.18– Fotografia já georreferenciada com alguns dados que constam do seu EXIF em S. Pedro Moel (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Junho de 2017).

### Utilização de *Ground Control Points* (GCP)

Através da utilização das Ortofotos de 2014-2015 e do LiDAR de 2011, é possível obter uma aproximação da latitude, longitude e altitude de pontos fixos, nomeadamente pedras de elevado porte no coroamento e/ou postes de eletricidade (Figura 5.19a e Figura 5.19b). Embora este método apresente algum erro associado, é a melhor aproximação que pode ser obtida sem o recurso a um GPS portátil terrestre, como por exemplo um GPS RTK (*Real Time Kinematic*).



Figura 5.19– Exemplos de pontos a utilizar como *Ground Control Points*: a), esporão EV2 da Cova do Vapor; b) Base do poste de eletricidade em Água de Medeiros (Fonte: Fotografias obtida com o VANT da APA a Junho de 2017).

### Processamento de Modelos tridimensionais

Posteriormente à georreferenciação das fotografias capturadas na missão e da recolha de alguns *Ground Control Points*, procede-se ao processamento do modelo tridimensional. Para tal, utilizou-se as versões demo de dois *softwares* de processamento de modelos, o *Pix4D* e o *Agisoft Photoscan Pro*. Para a demonstração dos resultados obtidos apenas serão



referenciados os modelos do *software Pix4D*, uma vez que apresentaram uma maior aplicabilidade para o pretendido na dissertação.

De seguida são referidos os vários passos para a obtenção de um modelo tridimensional e ortofotografias, utilizando o *software Pix4D* versão *Trial*. Depois, serão detalhados os elementos de variação face à metodologia geral.

1. Numa primeira fase são seleccionadas as fotografias georreferenciadas, capturadas durante a realização da missão e adicionadas ao *software* (Figura 5.20a);
2. Caso as fotografias estejam corretamente georreferenciadas, o *software* deteta as informações presentes no EXIF (Figura 5.20b), retirando os dados da fotografia, nomeadamente as suas coordenadas e o tipo de câmara fotográfica utilizada;
3. Dependendo do tipo de modelo que se pretende, é escolhido o tipo de processamento mais ajustado. Neste caso, utilizou-se o *template* “3D Maps”, como exemplificado na Figura 5.20c;

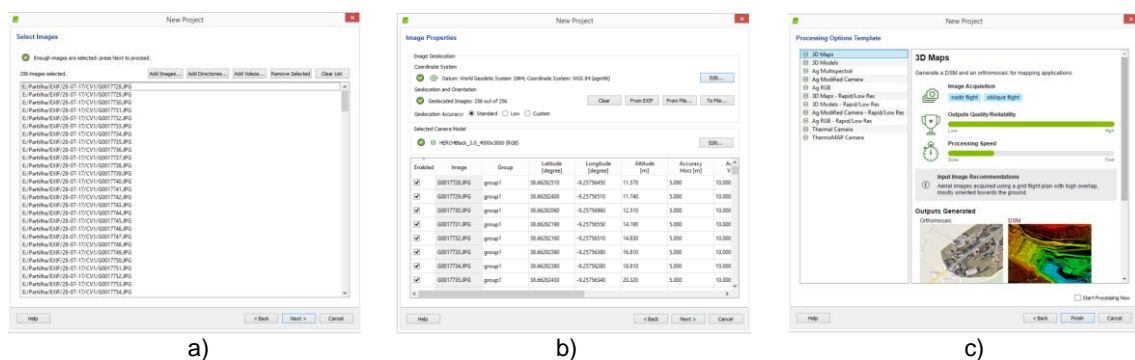


Figura 5.20 – Etapas 1 a 3 ilustradas, utilizando o *software Pix4D*.

4. As fotografias georreferenciadas são exibidas automaticamente no *software* e encontram-se prontas a serem processadas, como se pode observar na Figura 5.21.

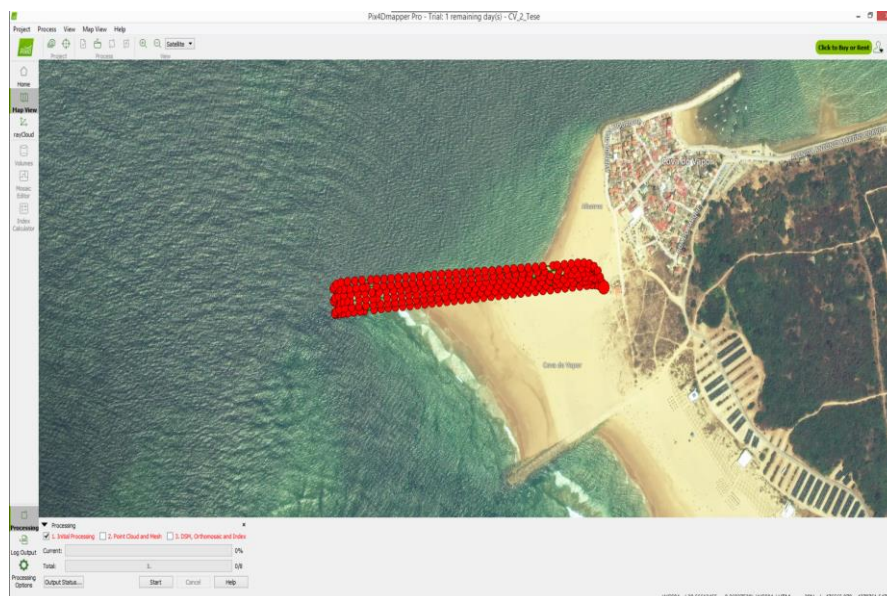


Figura 5.21– Geolocalização das fotografias capturadas durante a realização da missão.

5. Para a inserção dos *Ground Control Points* no processamento dos modelos, é realizado um *Initial Processing* dos levantamentos fotogramétricos, obtendo uma nuvem de pontos inicial, a qual será utilizada para introduzir os GCP anteriormente obtidos, diminuindo os erros de georreferenciação posteriores no processamento final do modelo.
6. Para tal, são exemplificados os procedimentos realizados para a obtenção de um GCP, com recurso ao LiDAR de 2011 e às Ortofotografias de 2014-2015, assumindo o pressuposto de que os sistemas de coordenadas de ambos se encontram corretos:
  - i. Assume-se um ponto fixo presente na estrutura em que se pretende realizar o modelo, neste caso selecionou-se uma pedra de granito facilmente identificável das restantes na obra e evidenciada na Figura 5.22;



Figura 5.22– Pedra que serviu de referência no esporão EV2 da Cova do Vapor como *Ground Control Point* (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Julho de 2017).

- ii. Com recurso ao *software ArcGis*, retiram-se as coordenadas X e Y da pedra de granito através da Ortofotografia de 2014-2015. De forma a facilitar o processo de identificação da pedra no LiDAR de 2011, coloca-se um rótulo sob o ponto que pretendemos identificar (Figura 5.23a);
- iii. Com recurso ao LiDAR de 2011, retira-se a cota do ponto através da informação presente no píxel (Figura 5.23b);

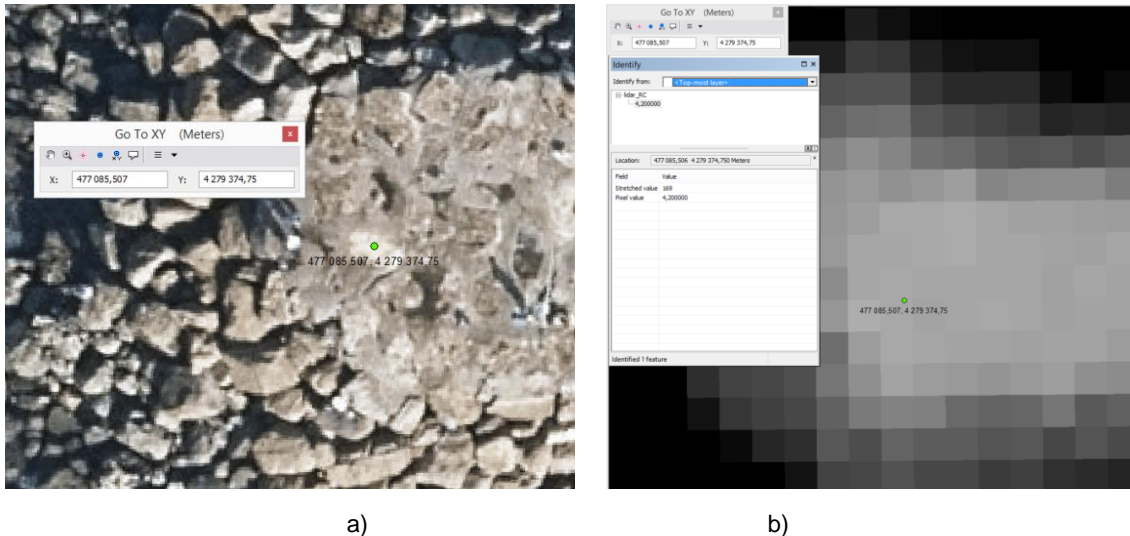


Figura 5.23– Ilustração do processo de obtenção de coordenadas (latitude, longitude e altitude) de uma determinada estrutura fixa que posteriormente será utilizada como GCP.

7. Após referenciados os GCP, procede-se a um *Initial Processing* no *Pix4D*, o que permite obter uma nuvem de pontos inicial face aos vários levantamentos fotogramétricos provenientes da realização da missão (Figura 5.24).

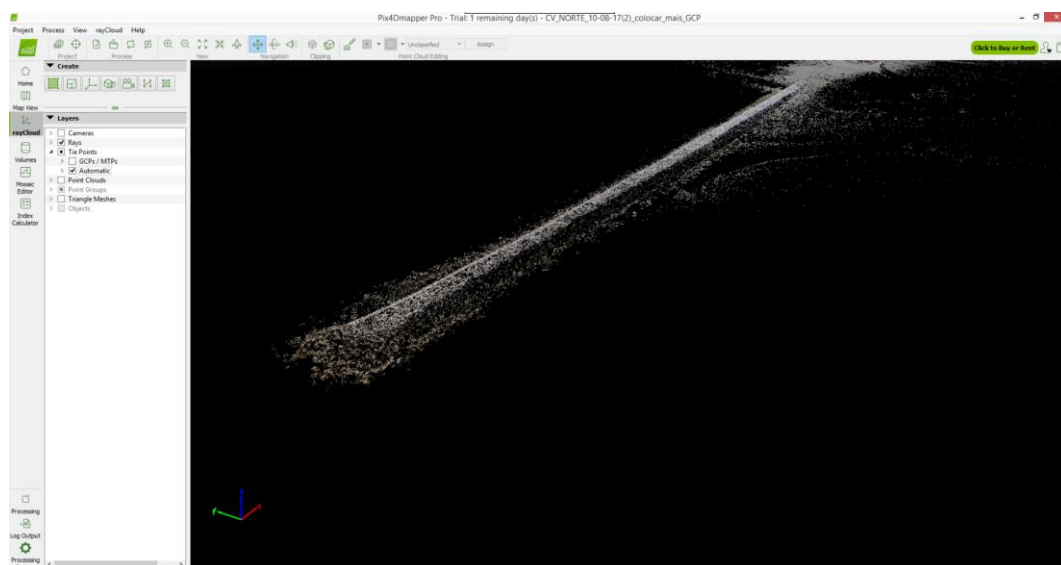


Figura 5.24 – Representação da nuvem de pontos obtidos através do processamento inicial do modelo, sem utilização de GCP.

8. Para a introdução dos *Ground Control Points* no processamento do modelo realizam-se as seguintes etapas explicadas e ilustradas:
  - i. No menu *Project* seleciona-se a opção *GCP/MTP Manager*,
  - ii. Surge um novo painel no *software*, no qual seleciona-se a opção *Import GCP*, onde, através de um ficheiro TXT, são introduzidos os vários GCP no modelo (Figura 5.25);

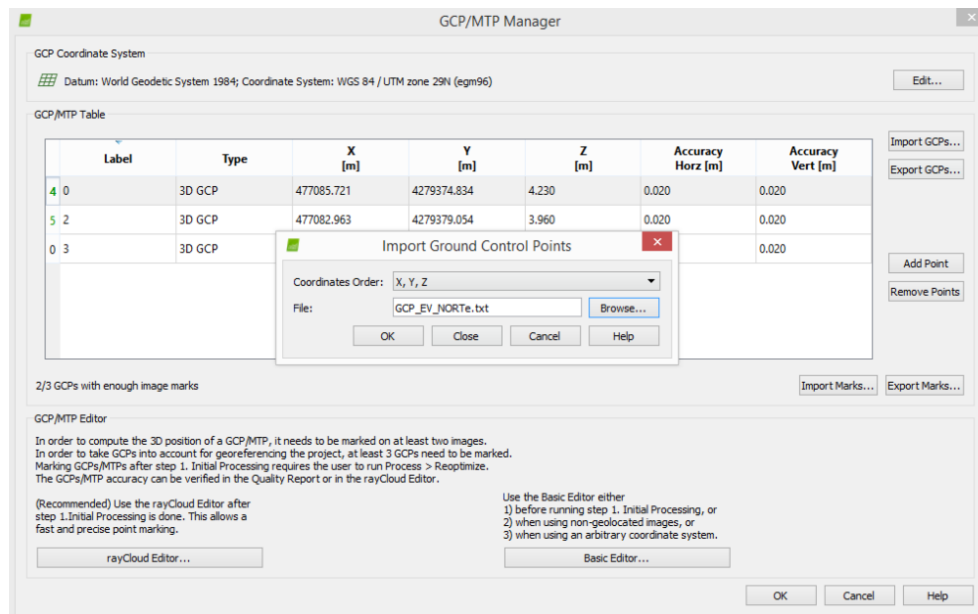


Figura 5.25 – Importação dos GCP para o processamento do modelo tridimensional a realizar.

- iii. Neste exemplo foram selecionados apenas três GCP para o auxílio da georreferenciação do modelo. Automaticamente, os GCP surgem na nuvem de pontos e, por norma, apresentam um erro significativo a nível da sua cota e que será posteriormente corrigido;
- iv. Em seguida seleciona-se um dos GCP que surge em várias fotografias devido ao elevado *overlap* dos levantamentos obtidos. Convém que o GCP seja identificado em mais do que três fotografias de modo a que o ponto seja bem referenciado. Este processo deve ser realizado para todos os GCP inseridos no modelo (Figura 5.26);

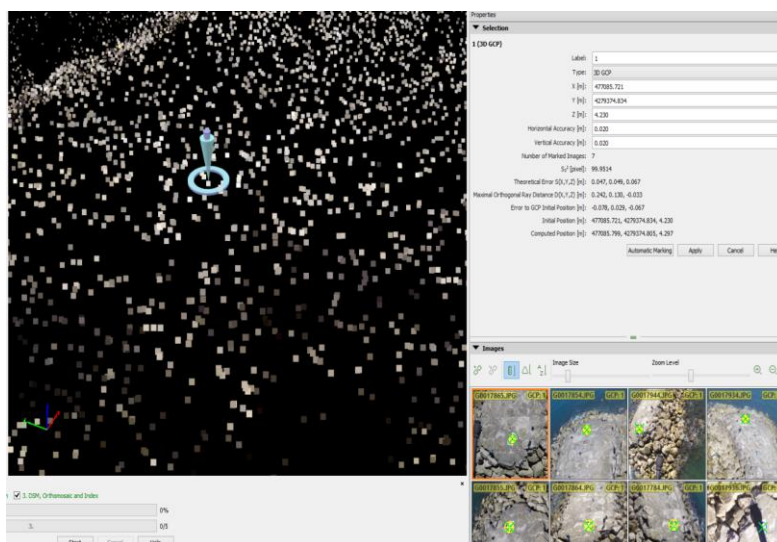


Figura 5.26 – Exemplo de marcação dum GCP em várias fotografias obtidas durante a realização da missão. Neste caso, o mesmo GCP foi marcado em sete fotografias distintas.

- v. Após a introdução e marcação de todos os GCP no modelo, procede-se a uma reotimização deste, através da opção *Reoptimize* (Figura 5.27a). O software irá realizar um novo processamento, em que a nova nuvem de pontos apresenta um



menor erro relativamente à latitude e longitude, mas, principalmente, à altimetria (Figura 5.27b).

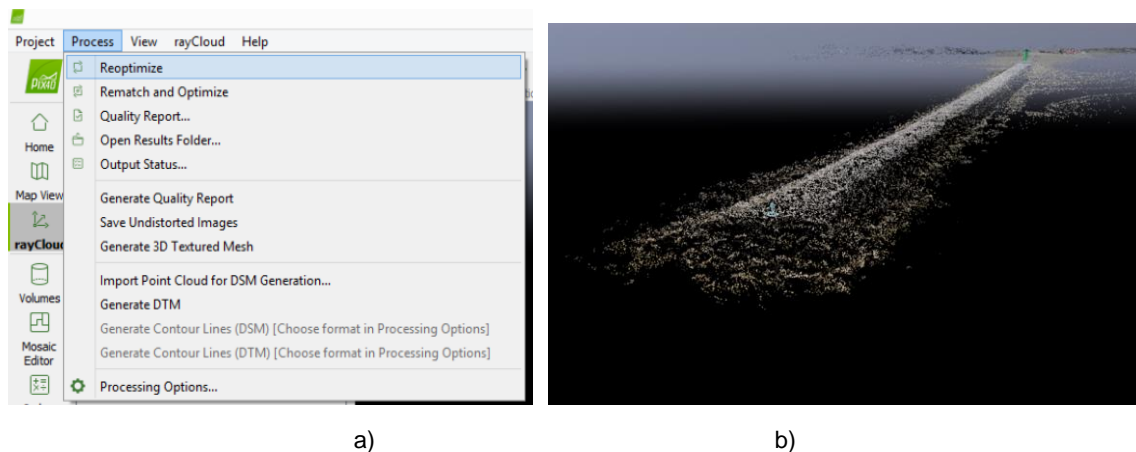


Figura 5.27 – a) Reotimização do modelo tridimensional após a colocação e marcação dos GCP; b) Nuvem de pontos com os GCP marcados.

9. Posteriormente, continua-se com o processamento do modelo, produzindo uma nuvem de pontos mais densa, bem como a produção do respetivo Ortomosaico e Modelo Digital de Terreno (MDT).

### Análise Visual dos elementos obtidos

Como referido anteriormente, a análise visual baseia-se na análise dos dados obtidos em diferentes momentos. Neste caso essa análise foi obtida comparando as ortofotografias de 2008, de 2014-2015 e as de 2017 que foram obtidas com a missão do *drone*. Com estes dados foram realizados três tipos de análises visual:

1. **Comparação direta entre as ortofotografias** através da justaposição das ortofotografias de diferentes momentos. Neste tipo de análise não há a alteração colorimétrica das ortofotografias.
2. **Sobreposição 2D de imagens**, no qual o cálculo da diferença colorimétrica entre as ortofotografias foi obtido através do módulo *Raster Calculator* do *ArcGis*, assinalando as diferenças mais relevantes na obra, a branco, e a sua baixa variabilidade a cinzento.
3. **Otimização colorimétrica de faces dos enrocamentos** através da ferramenta *Image Processing Design* presente no software *MatLab R2017a*, altera-se as configurações RGB das ortofotos, identificando faces dos enrocamentos do esporão que se encontrem dificilmente evidenciados devido à qualidade dos pixéis.

Sempre que necessário, utilizaram-se grelhas de 2x2m ou 20x20m e a divisão das ortofotografias em diferentes secções e subsecções de forma a facilitar o estudo das diferentes análises.

## Análise Quantitativa dos Modelos Digitais de Terreno

A análise quantitativa envolve a comparação do posicionamento dos mesmos elementos em diferentes momentos recorrendo aos Modelos Digitais de Terreno produzidos.

Para o presente caso foram utilizados os MDT adquiridos através do LiDAR de 2011 e MDT obtido pela realização das missões do *drone* em 2017. Para posterior análise dos MDT, em diferentes espaços temporais, procedeu-se a três tipos de análises quantitativas:

1. **Análise de perfis entre os diferentes MDT** adquiridos, com recurso à ferramenta *Interpolate Line*, presente no *3DAnalysis Tool* do *ArcGis* e ao *software Excel*;
2. **Diferença quantitativa entre os valores dos píxeis do MDT de 2011 e do MDT de 2017** através das propriedades de várias ferramentas presentes no *software ArcGis*;
3. **Cálculo de volumes e áreas de secção** de objetos evidenciados na nuvem de pontos obtida dos levantamentos fotogramétricos realizados pelo *drone* em 2017, através da ferramenta volumétrica do *software* de processamento *Pix4D*.

A **Análise de perfis entre os diferentes MDT** incide sobre os métodos clássicos de variação entre perfis retirados dos respetivos Modelos Digitais de Terreno. Para o cálculo volumétrico das secções realizadas a partir dos perfis que dividem a obra, utilizou-se a seguinte expressão:

$$V_n = \frac{A_{(n-1)} + A_n}{2} \times d_{(A_{(n-1)} - A_n)}$$

Relativamente à **Diferença quantitativa entre os valores dos píxeis do MDT de 2011 e do MDT de 2017** é necessário ter em consideração que na evolução de um esporão, os deslizamentos e as perdas de material geram diferentes alterações volumétricas e consequentemente variações no comportamento da obra. A diferença entre os valores dos píxeis (altura) do MDT de 2011 e o MDT de 2017 permite identificar valores positivos (>0 representa aumentos de altura) e negativos (<0 representa perdas de altura).

O valor da diferença dos píxeis do MDT de 2017 e LiDAR 2011 resulta em diferenças de altura entre modelos (em metros), se este valor for multiplicado pela área do píxel, este origina um volume perdido ou ganho em determinada célula. Este procedimento metodológico encontra-se representado na Figura 5.28 onde, na imagem da direita, os tons a azul significam ganhos de volume e os vermelhos significam perdas de volume. Caso as obras não tenham sido objeto de nenhuma intervenção artificial entretanto e como é o caso, as perdas devem-se geralmente ou a assentamentos ou a deslizamentos e os ganhos geralmente correspondem aos locais de depósito na sequência de um escorregamento dos enrocamentos.

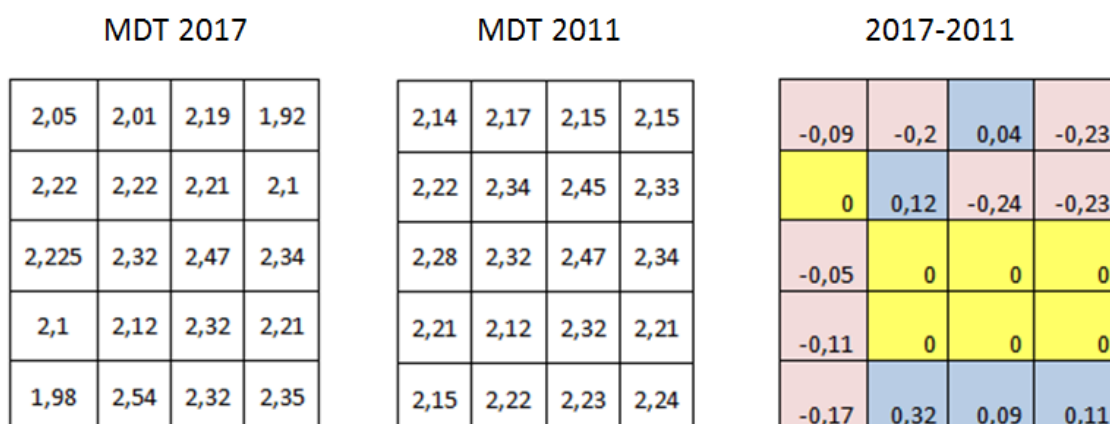


Figura 5.28 – Diferença do valor de pixéis entre Modelos Digitais de Terreno (Adaptado de ESRI, 2017).

As células do LiDAR são de 4 m<sup>2</sup> (células quadradas com 2 metros de lado), enquanto os pixéis do MDT de 2017 apresentam uma área de 0,0289 m<sup>2</sup>. Como o MDT de 2017 apresenta uma maior resolução do que o MDT do LiDAR (por cada ponto do LiDAR o MDT de 2017 apresenta 138 pontos) tal implica que se faça um ajustamento no levantamento mais atual para ser possível efetuar a comparação. Para o cálculo volumétrico das alterações ocorridas entre MDT utilizou-se a seguinte expressão:

$$\text{Volume alterado (m}^3\text{)} = (h \text{ MDT 2017} - h \text{ MDT 2011})(m) \times \text{área da célula em estudo (m}^2\text{)}$$

Em seguida realizou-se o cálculo dos volumes alterados, com auxílio das ferramentas *raster calculator* e *Zonal Statistic To Table*, através dos seguintes *scripts* no *Phyton* (Tabela 9):

Tabela 9 – Scripts utilizados para o cálculo da variação estrutural emersa dos esporões

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Blocos enrocamentos              | $\sum \text{SetNull (Vol.alterado} < 0, \text{Vol.alterado)} \times (-1)$ |
| Deslizamentos de enrocamentos    | $\sum \text{SetNull (Vol.alterado} > 0 \text{ Vol.alterado)}$             |
| Volume de enrocamentos alterados | $\sum (\text{blocos perdidos} + \text{blocos deslizados})$                |

De ambas as análises quantitativas, é possível calcular variações ocorridas em diferentes troços do esporão, nomeadamente a variação ocorrida na sua cabeça, corpo e enraizamento, bem como a variação segundo as suas diferentes faces, a norte e a sul do esporão.

Em contraposição à análise visual, este tipo de análise permite a obtenção de grandezas mensuráveis na alteração estrutural dos esporões através da comparação dos diferentes Modelos Digitais de Terreno, no presente caso entre 2011 e 2017.

## 5.2. Metodologia específica

A metodologia específica baseia-se na metodologia geral, embora com algumas variações nos procedimentos antes e após a realização da missão, de forma a se ajustar a cada caso específico, no presente caso os esporões EV1 e EV2 da Cova do Vapor. Para cada caso de estudo foram realizados dois voos distintos, com a mesma missão, mas a altitudes diferentes. Desta forma, foi possível a obtenção de uma maior e mais densa nuvem de pontos e ao

mesmo tempo um maior *overlap* e *sidelap*, promovendo uma maior qualidade nos modelos 3D obtidos.

### 5.2.1. Esporão EV2 da Cova do Vapor

A metodologia específica aplicada também é dividida em três etapas distintas. Alguns procedimentos são omissos por serem semelhantes aos utilizados na metodologia geral, como sejam o carregamento das baterias, a calibração do *drone*, a *checklist* do voo e a georreferenciação das fotografias.

#### Planeamento da Missão

Para a obtenção dos dados para o Esporão EV1 da Cova do Vapor realizaram-se dois voos, com a mesma missão, embora a alturas diferentes, 15 e 30 metros.

No Planeamento da Missão, seleccionaram-se catorze *waypoints* onde, segundo a metodologia geral, o primeiro comando é um *Take-Off* e o último um *Return To Launch*. Ambos os voos apresentam uma distância de 3 299 metros, com *waypoints* dispostos paralelamente ao esporão. Na Figura 5.29 estão representados os vários *waypoints* do primeiro voo realizado a 15 metros.

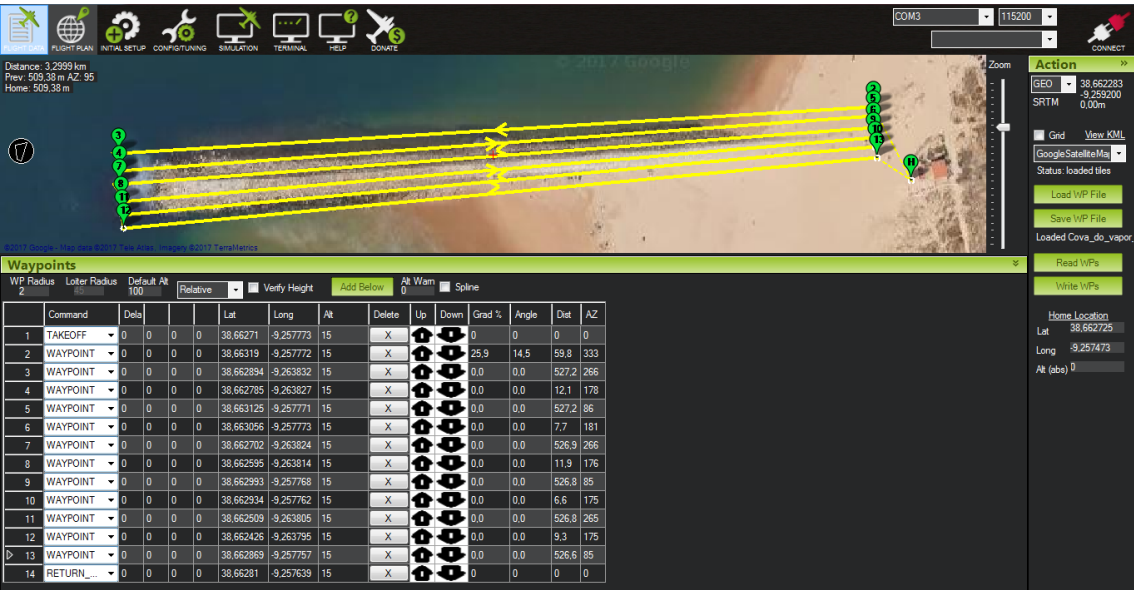


Figura 5.29– Plano da primeira missão realizada ao Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma altura de 15 m.

O trajecto da missão do *drone* realizou-se com base no elevado pormenor que se pretendia obter. Para tal, utilizou-se um *overlap* (%) de 92, ou seja fotografias a cada 2 segundos, e um *sidelap* (%) de 50, com uma distância de entre linhas do trajecto de 13,90 metros, conforme observado na Figura 5.30.

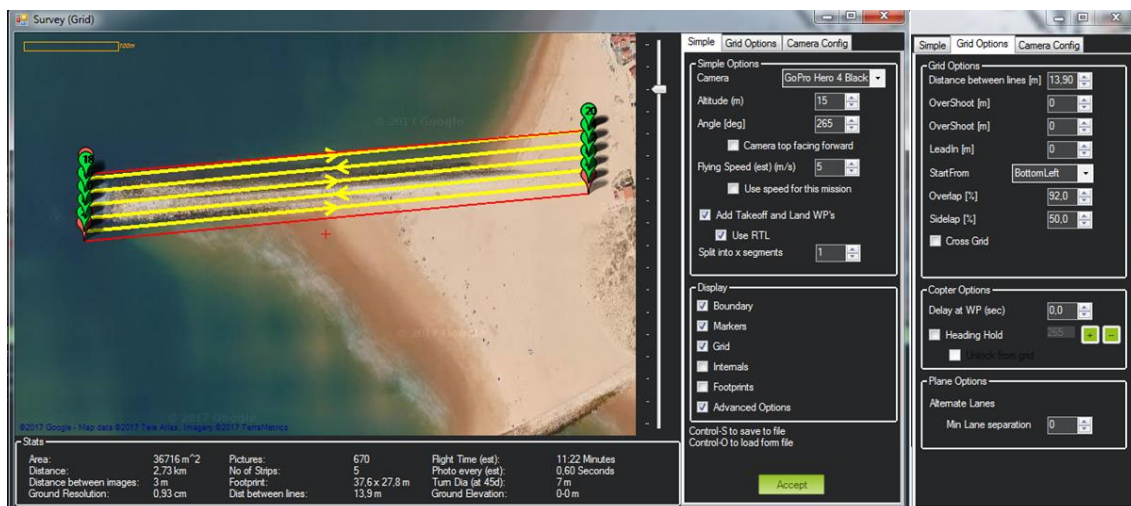


Figura 5.30– Dados de Overlap e Sidelap do primeiro voo realizado ao Esporão EV2 da Cova do Vapor.

### Utilização de Ground Control Points

De forma a minimizar erros relativamente à georreferenciação do modelo do Esporão EV2 da Cova do Vapor, procedeu-se à utilização de seis GCP inseridos sobre o *Initial Processing* do software *Pix4D*.

Uma vez que no presente caso não foram utilizados GPS portáteis terrestres, procedeu-se à utilização das Ortofotos de 2014-2015 e do LiDAR de 2011 para o ajustamento das coordenadas geográficas através da utilização de pontos notáveis da obra, nomeadamente algumas pedras fixas no coroamento do esporão. Para os GCP utilizados utilizou-se sistema de coordenadas geográfico WGS 84 / UTM zone 29N (egm96).

Na Tabela 10 estão representados os GCP utilizados para apoio ao modelo, permitindo diminuir o erro das medições que serão posteriormente efetuadas.

Tabela 10 – Coordenadas dos GCP utilizados na modelação 3D do Esporão Norte da Cova do Vapor

| <i>Ground Control Point</i> | Coordenada X (m) | Coordenada Y (m) | Coordenada Z (m) |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                           | 477085.507       | 4 279 374,750    | 4,20             |
| 2                           | 477136.017       | 4 279 377,500    | 4,13             |
| 3                           | 477188.021       | 4279379,813      | 4,05             |
| 4                           | 477316.634       | 4 279 389,981    | 4,46             |
| 5                           | 477445.813       | 4 279 398,036    | 5,10             |
| 6                           | 477 258,130      | 4 279 385,025    | 3,83             |

Utilizou-se a metodologia geral de como inserir os GCP no processo *Inicial Processing* do *Pix4D*, com 6 GCP inseridos na nuvem de pontos obtidos conforme se pode observar na figura seguinte (Figura 5.31).

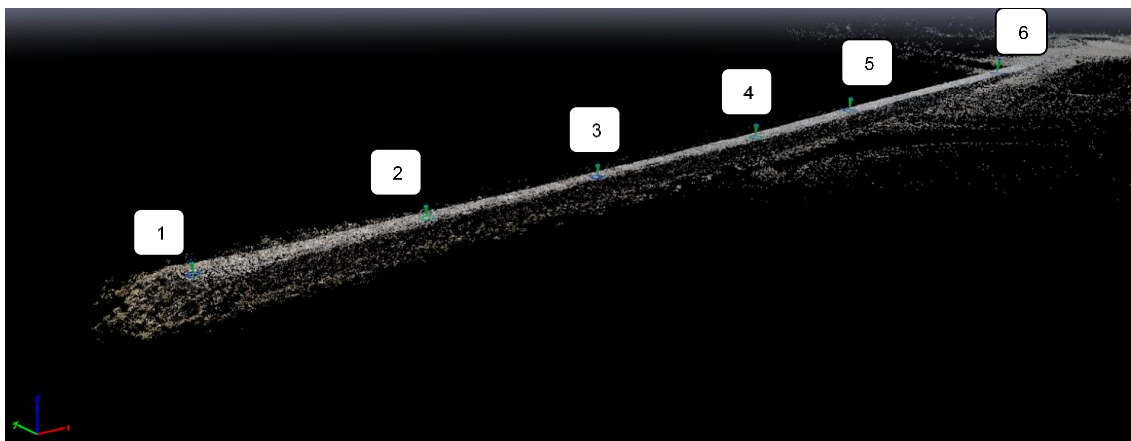


Figura 5.31– Introdução dos GCP no *Initial Processing* do software *Pix4D*, processo realizado para o apoio à georreferenciação do modelo do Esporão EV2 da Cova do Vapor.

### Análise Visual e Quantitativa no Esporão EV2

Após a obtenção do ortomosaico do Esporão EV2 georreferenciado, procedeu-se à análise visual tomando como referência ortomosaicos dos anos de 2008 e 2014-2015.

A análise visual encontra-se dividida em três tipos de análise: a sobreposição 2D de ortomosaicos (uso do software *ArcGis*), identificação de faces visíveis de blocos do esporão (uso do software *MatLab*) e comparação direta entre os ortos através da sua justaposição.

Através da utilização do Modelo Digital de Terreno obtido através do processamento dos dados recolhidos durante a missão procede-se, com base na Metodologia Geral, a uma análise quantitativa entre diferentes Modelos Digitais de Terreno, o LiDAR 2011 e o MDT obtido pelo *drone*. Este estudo está assente em três tipos de análise quantitativa: análise de perfis de uma mesma secção, diferença entre os valores de pixéis entre ambos e o uso do software *Pix4D* no cálculo de volumes e áreas de secções do esporão.

#### 5.2.2. Esporão EV1 da Cova do Vapor

Tal como no planeamento dos voos realizados para o Esporão EV2 da Cova do Vapor, para o Esporão EV1, foram considerados dois voos, com a mesma trajetória paralela ao esporão, às altitudes de 15 e 30 metros.

Para esta obra foram seleccionados treze *waypoints* paralelos a esta, com um trajeto de 2 130 metros. Similarmente ao Esporão EV2, utilizou-se um *overlap* de 92% e um *sidelap* de 50%. Na Figura 5.32 são apresentados os dados de planeamento do primeiro voo realizado a uma altura de 15 metros. De forma análoga ao Esporão EV2, as capturas de fotografias foram de dois em dois segundos, mas com uma distância entre linhas do trajeto de 10,40 metros, para que o *Sidelap* seja de, pelo menos, 50%.



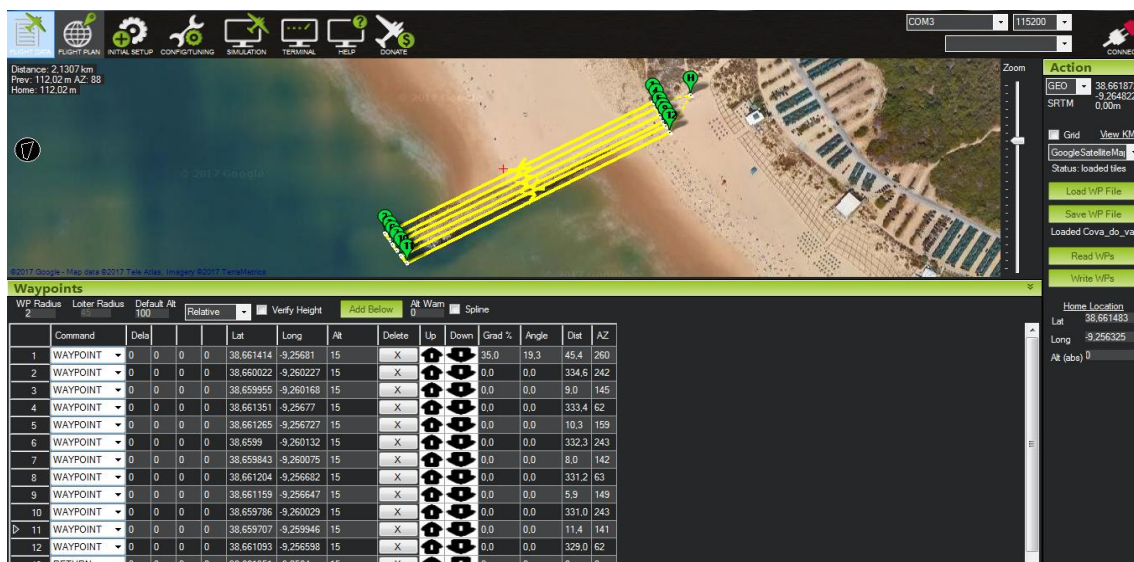


Figura 5.32 - Plano da primeira missão realizada ao Esporão EV1 da Cova do Vapor a uma altura de 15m.

### Utilização de Ground Control Points

Para o Esporão EV1 da Cova do Vapor extraíram-se três GCP de pontos fixos, atenuando o erro dos cálculos posteriormente realizados. As coordenadas dos pontos podem ser observadas na Tabela 11 e a sua representação geográfica na nuvem de pontos na Figura 5.33.

Tabela 11 – Coordenadas dos GCP utilizados na modelação 3D do Esporão Norte da Cova do Vapor

| Ground Control Point | Coordenada X (m) | Coordenada Y (m) | Coordenada Z (m) |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                    | 477 401,94       | 4 279 073,02     | 3,15             |
| 2                    | 477 453,357      | 4 279 106,367    | 3,88             |
| 3                    | 477 485, 605     | 4 279 125,099    | 3,40             |

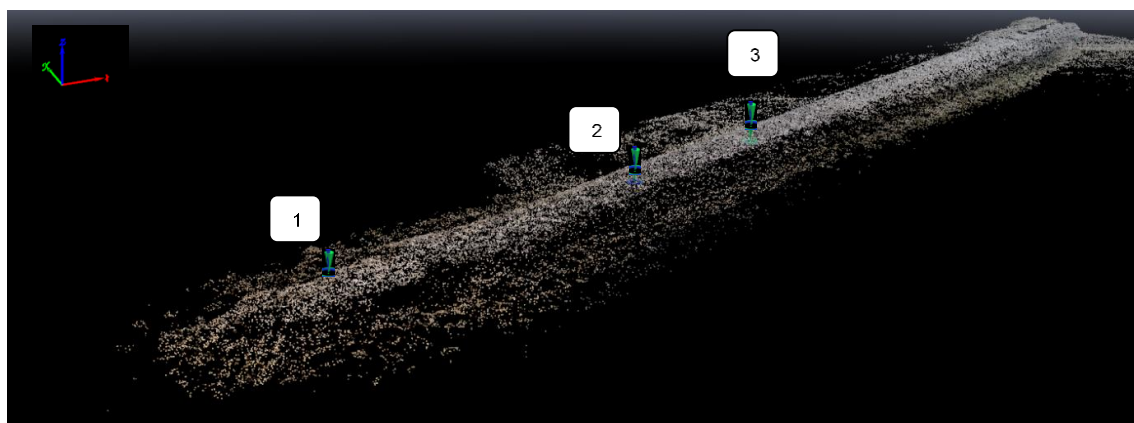


Figura 5.33–Representação geográfica dos GCP na nuvem de pontos obtida através do Initial Processing do Esporão EV1 da Cova do Vapor.



### **Análise Visual e Quantitativa do Esporão EV1**

Para o Esporão EV1 da Cova do Vapor, efetuou-se uma análise através da justaposição entre a ortofotografia de 2008 e o ortomosaico obtido através dos levantamentos fotogramétricos com recurso ao *drone*.

Relativamente à análise quantitativa, deu-se particular atenção à cabeça deste esporão, dado ser aqui que se verificam os danos mais elevados. Calcularam-se perfis transversais, bem como a diferença do valor dos pixéis entre MDT de períodos temporais diferentes.

Em ambas as análises realizadas são evidenciadas mudanças significativas na zona emersa da cabeça do esporão.

## 6. A MONITORIZAÇÃO DAS OBRAS DE DEFESA COSTEIRA ENTRE A COVA DO VAPOR E A COSTA DA CAPARICA COM RECURSO A VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

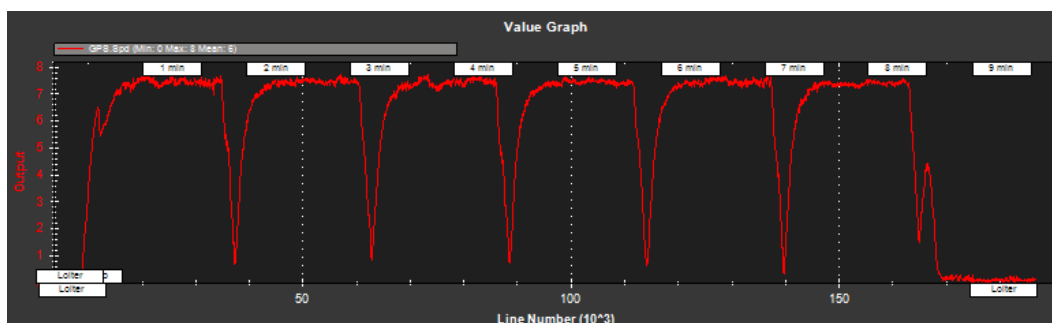
No capítulo 6 apresenta-se a análise da comparação dos elementos obtidos (com recurso ao VANT Hexacopter da APA) os levantamentos fotogramétricos disponíveis e mais relevantes para os casos de estudo da presente dissertação. Cumulativamente, ilustram-se e a título de exemplo, outros modelos que foram obtidos para a obra aderente da Praia da Areia Branca no concelho da Lourinhã e para a arriba da Pedra do Ouro no concelho de Alcobaça, com o propósito de se avaliar a utilidade da metodologia proposta.

### 6.1. Esporão EV2 da Cova do Vapor

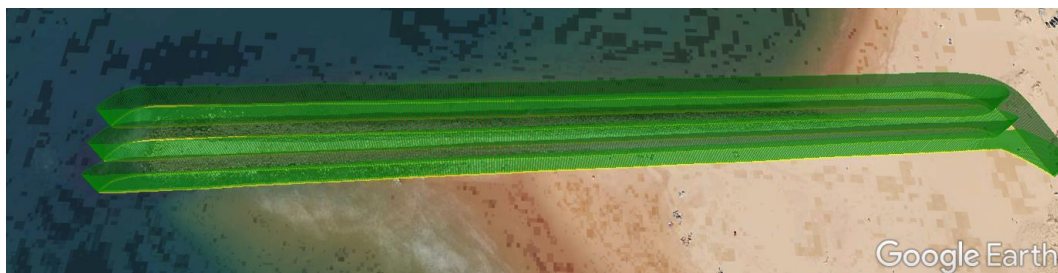
Para a análise do Esporão EV2 da Cova do Vapor (ver subcapítulo 5.2.) a metodologia específica baseia-se na metodologia geral, embora com algumas variações nos procedimentos antes e após da realização da missão de forma a que se possa ajustar a cada caso específico, neste caso, aos esporões EV1 e EV2. Para cada caso de estudo foram realizados dois voos distintos, com a mesma missão, mas a altitudes diferentes. Desta forma foi possível a obtenção de uma maior e mais densa nuvem de pontos e ao mesmo tempo um *overlap* e *sidelap* bastante elevados, promovendo uma maior qualidade nos modelos 3D obtidos.

Segundo a metodologia específica, mencionada em 5.2.1 Esporão EV2 da Cova do Vapor – Planeamento da Missão, efetuaram-se duas missões. A primeira realizou-se a uma altitude de 15 metros, com a duração de aproximadamente 9 minutos e 30 segundos. A segunda durou cerca de 10 minutos a uma altura de 30 metros.

Na figura seguinte (Figura 6.1) ilustram-se algumas informações, extraídas dos *logs* do *drone*, concretamente a velocidade de voo e o percurso realizado pelo VANT face à missão realizada ao esporão EV2.



a)



b)

Figura 6.1– Informações de voo retiradas dos *logs* do *drone*: (a) A imagem de cima representa a velocidade de voo do *drone*; (b) A imagem de baixo representa o trajeto realizado pelo *drone* (ficheiro KMZ, utilização do software *Google Earth*).

Na Figura 6.2 são mostradas 4 das 528 fotografias aéreas verticais (NADIR) obtidas durante a missão ao esporão EV2 da Cova do Vapor:

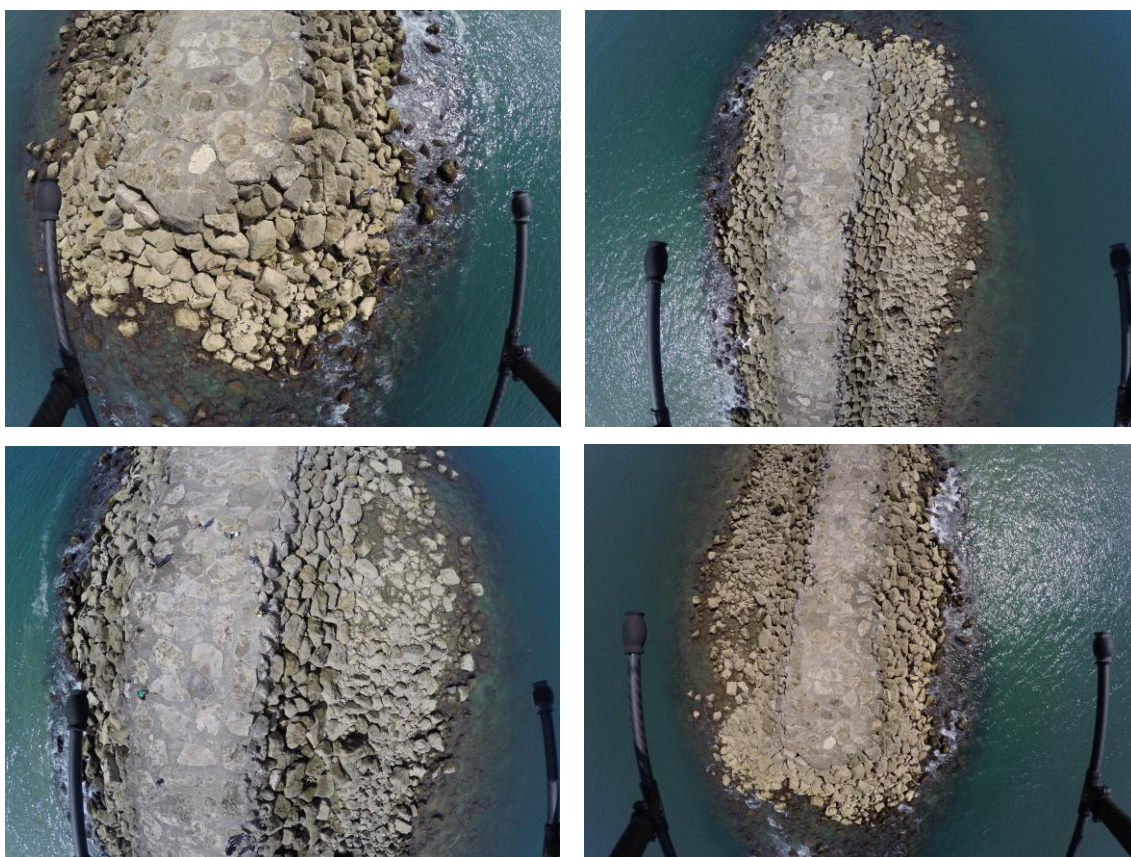


Figura 6.2 – Exemplos das fotografias aéreas oblíquas resultantes do levantamento realizado pelo *drone* ao Esporão da Cova do Vapor (Imagens da esquerda a 15 m de altura e da direita a 30 m) (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Junho de 2017).

Na Figura 6.3 é apresentado numa perspetiva tridimensional o levantamento com a câmara num ângulo vertical (ângulo Nadir) e o seu posicionamento no momento dos levantamentos sendo ilustrado os dois percursos um à altura de 15 m e o outro dos 30 m.

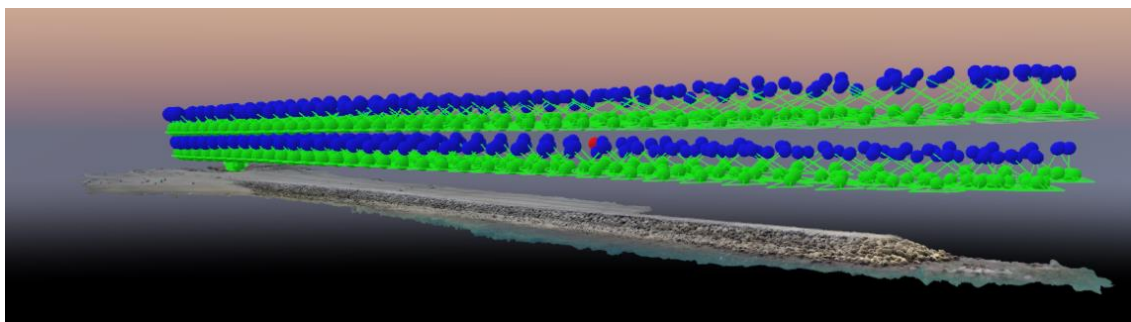


Figura 6.3 – Posicionamento dos 528 levantamentos fotogramétricos, nos quais a câmara fotográfica encontra-se a um ângulo nadir (vertical). A azul é o posicionamento da câmara aquando do momento da captura da imagem e a verde o ângulo desta. *Software: Pix4D (2017)*

Na Figura 6.4 ilustra-se numa representação lateral, em 2D – perspectiva YZ, a localização dos levantamentos fotogramétricos georreferenciadas, bem como a posição dos GCP. De referir que das 528 imagens tiradas, apenas uma apresentou erro de calibração (ponto a vermelho).

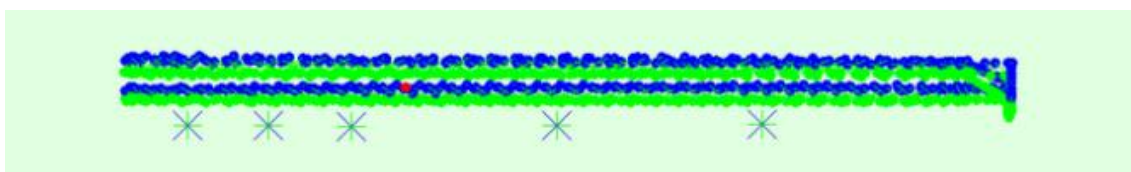


Figura 6.4 – Posicionamento 2D (vista YZ) dos levantamentos fotogramétricos e dos GCP (a verde são as imagens calibradas, a vermelho o levantamento fotogramétrico não calibrado e as cruze em baixo são o posicionamento dos GCP). *Software: Pix4D (2017)*

A precisão do modelo obtido é tanto maior quanto maior for a sobreposição (*overlap*) das imagens, resultando numa grande proporção de *matched keypoints* (Figura 6.5). Nesta figura, as áreas que apresentam *matched keypoints* suficientes para a obtenção de bons resultados estão representadas a verde.



Figura 6.5 – Avaliação do Overlap obtido do levantamento realizado ao esporão EV2 da Cova do Vapor, no qual a área a vermelho não apresenta *matched keypoints* para uma correta modelação e a verde apresenta pontos suficientes para uma modelação pormenorizada. *Software: Pix4D (2017)*

Face à missão realizada com o *drone* e após a georreferenciação e tratamento dos levantamentos, obtiveram-se para o Esporão EV2 da Cova do Vapor os seguintes resultados:

- Ortomosaico (Figura 6.6);
- Modelo Digital de Terreno (Figura 6.7);
- Modelo Tridimensional visível no *Pix4D* (modelo com 21 859 856 pontos 3D) (Figura 6.8, Figura 6.9, Figura 6.10).





Figura 6.6– Ortomosaico obtido da missão realizada pelo *drone* ao Esporão EV2 da Cova do Vapor.

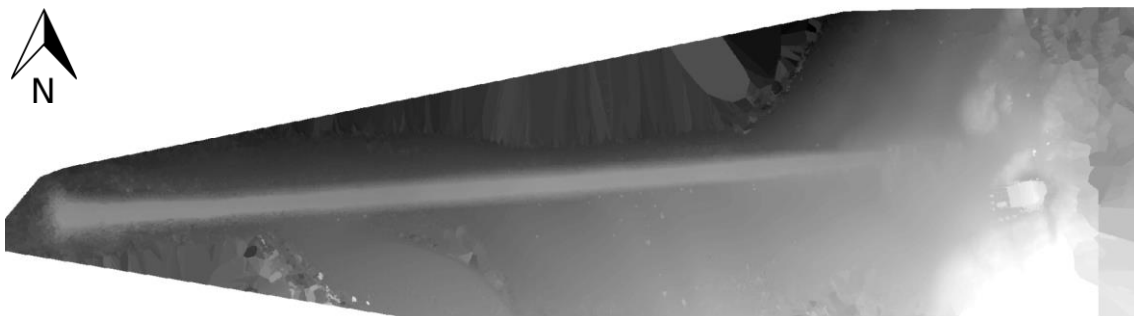


Figura 6.7 – Modelo Digital de Terreno obtido da missão realizada pelo *drone* ao Esporão EV2 da Cova do Vapor

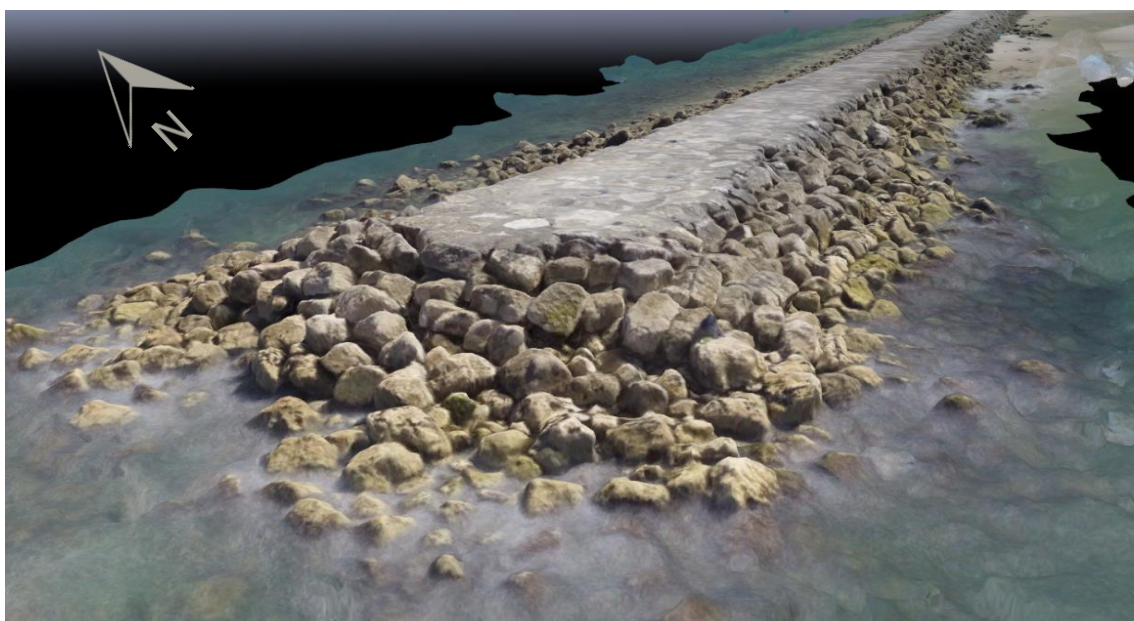


Figura 6.8 – Perspetiva Cavaleira (Vista da direita) da cabeça do Esporão EV2 visualizada no *software Pix4D*, modelo obtido através da missão realizada pelo *drone* (Escala 1:120, aproximadamente).

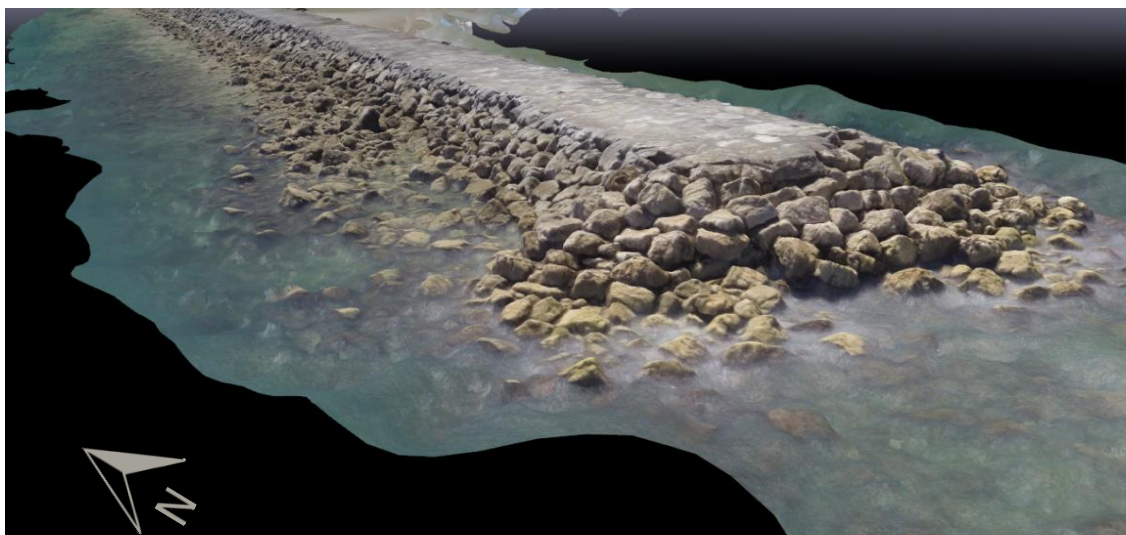


Figura 6.9 – Perspetiva Cavaleira (Vista da esquerda) do Esporão EV2 visualizada no *software Pix4D*, modelo obtido através da missão realizada pelo *drone*.



Figura 6.10 – Perspetiva Axonométrica Trimétrica do Esporão EV2 visualizada no *software Pix4D*, modelo obtido através da missão realizada pelo *drone*.

Recorrendo ao *software* de processamento *Pix4D*, obteve-se um GSD com 1,72 cm entre diferentes píxeis, tendo sido processado uma área de 0,0566 km<sup>2</sup>, nos quais adquiriu em média 23 900 *keypoints* e 2 259 *matched keypoints* por imagem. No modelo processado foram gerados um total de 1 440 634 pontos 2D e 518 653 pontos 3D. Após a obtenção da nuvem de pontos em 2D, o programa gerou 24 357 645 pontos 3D, apresentando em média 895,62 pontos por m<sup>3</sup>.

#### 6.1.1. Análise Visual

O ortomosaico dos levantamentos obtidos com recurso ao *drone* foi comparado com levantamentos históricos, obtidos por câmaras métricas instaladas em aviões convencionais, nomeadamente as Ortofotos de 2008 e as Ortofotos de 2014-2015. Nesta análise realizou-se



uma comparação direta entre os diferentes levantamentos, a sua sobreposição 2D e a identificação de faces visíveis dos enrocamentos para diferentes secções do esporão.

### **Comparação direta de ortomosaicos através de justaposição**

Neste tipo de análise não foram realizadas alterações cromáticas entre as diferentes ortofotografias. Estas encontram-se georreferenciadas no qual foi necessária a utilização da ferramenta *georeference* do *ArcGis*, de forma a corrigir pequenos erros de georreferenciação.

Na Figura 6.11 apresenta-se a sequência das ortofotografias para o Esporão EV2 da Cova do Vapor à escala de 1:1500, na qual é possível evidenciar alguns fatores disruptivos da qualidade destas, nomeadamente a diferença da luminosidade, o posicionamento solar e a qualidade entre as diferentes ortofotografias.



Figura 6.11– Justaposição das ortofotografias (2008, 2014-2015 e 2017, respetivamente) do Esporão EV2 da Cova do Vapor (Escala de 1:1500).

*Análise direta entre a ortofotografia de 2014-2015 e a Ortofotografia de 2017*

Na figura seguinte (Figura 6.12) apresenta-se a diferença direta entre a ortofotografia de 2014-2015 e a de 2017 de modo a evidenciar as variações estruturais na obra.

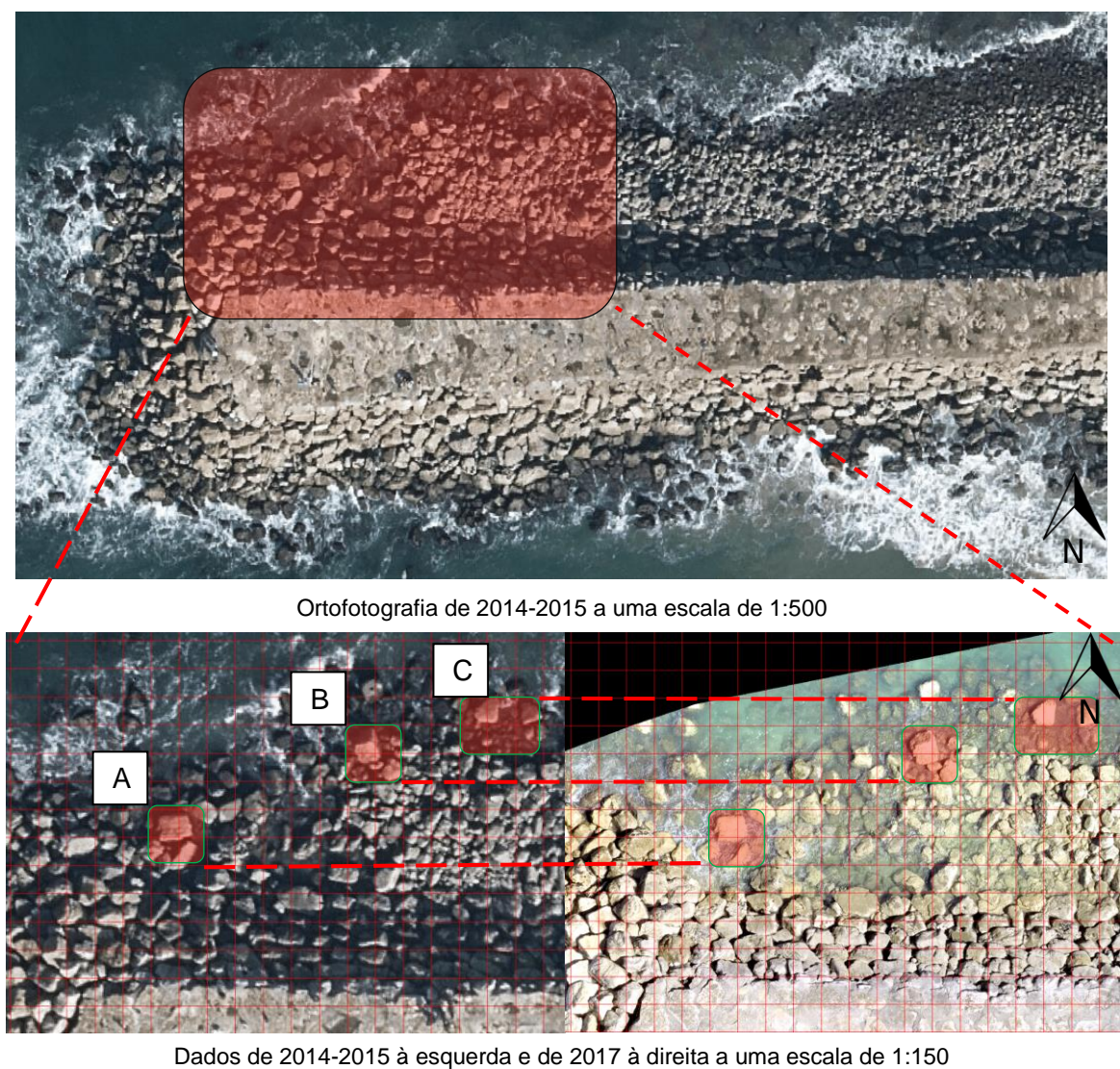


Figura 6.12 – Alteração estrutural de alguns blocos a título de exemplo entre as Ortofotografias de 2014-2015 e 2017.

Para esta análise específica utilizou-se uma grelha de 2 por 2 metros, de forma a facilitar o estudo do movimento dos elementos dos enrocamentos entre as duas ortofotos. Na amostra selecionada e que envolve diferentes tipos de enrocamentos existentes no esporão (A, B e C), muito certamente os dados da amostra respeita a elementos com dimensões do tipo 4 a 6 t ou de 9 a 12 t. Para estes casos verifica-se que nos três anos que separam os dois levantamentos, não houve alterações significativas no seu posicionamento.

Um dos aspetos a ter em consideração prende-se com a altura de água e a agitação marítima entre ortofotografias, e que convém ser semelhante para que possa haver dados fiáveis para comparação, sendo que os elementos submersos não permitem qualquer tipo de comparação através desta metodologia.

O corpo e o enraizamento do esporão foram comparados (Figura 6.13) utilizando o mesmo método a diferentes escalas e com o auxílio de uma grelha 20x20m.

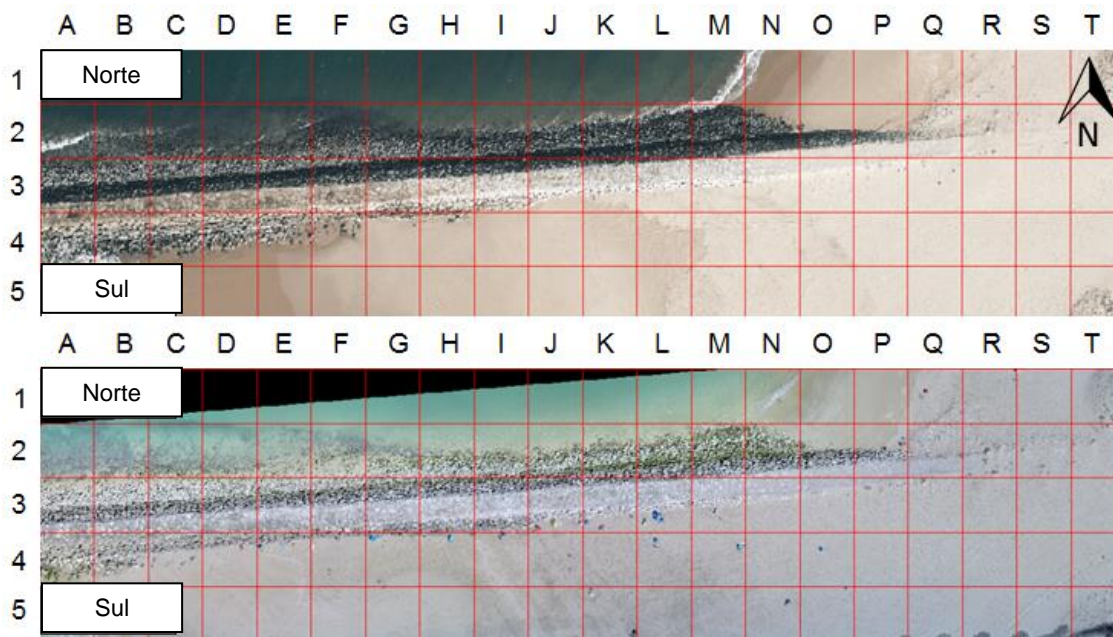


Figura 6.13 – Análise do corpo e enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor entre a Ortofotografia de 2014-2015 (imagem de cima) e a Ortofotografia de 2017 (imagem de baixo). As Ortofotografias estão a uma escala de 1:1 250.

Da análise evidenciada na Figura 6.13, verifica-se que houve uma baixa variabilidade na estrutura do enrocamento do esporão (A3 a Q2). Já significativas são as variações morfodinâmicas dos sedimentos na sua proximidade, conforme observável, por exemplo, nas células D4 a G4.

Entre 2014-2015 e 2017 podemos constatar que as maiores alterações estruturais no corpo do esporão ocorrem no lado norte deste, sendo quase inexistentes a sul e que se deve, muito provavelmente, ao efeito da praia encaixada fixada pelo efeito combinado dos dois esporões.

De referir também, que durante o período em análise não houve registos de nenhum acontecimento extremo, como por exemplo as tempestades observadas em 2006/2007 ou as que ocorreram no Inverno de 2013/2014.



#### *Análise direta entre a Ortofotografia de 2008 e a de 2017 no esporão EV2*

Efetuada a mesma análise, mas agora para um período mais largo, entre 2008 e 2017, nove anos portanto, observa-se, como seria expectável, uma maior variação no comportamento dos enrocamentos e conforme observável na figura que se segue (Figura 6.14).

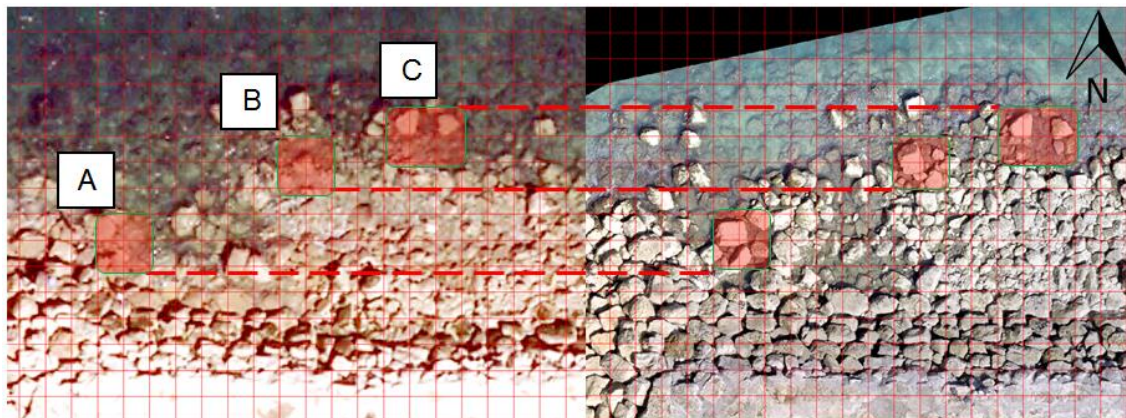


Figura 6.14 - Ortofotografia de 2008 e Ortofotografia de 2017 a uma escala de 1:150.

Enquanto na área C as alterações registadas apenas são percecionáveis nos blocos de menores dimensão, já nos locais A e B essa alteração também se regista nos blocos de maiores dimensões, sendo que no local B os enrocamentos maiores deslocaram-se cerca de 1 metro para nascente e, no local A, houve mesmo uma total renovação de todos os materiais do enrocamento. Note-se que se tratam de blocos que se situam entre as 9 e as 12 toneladas

Expetavelmente, no Esporão EV2 da Cova do Vapor, os agrupamentos de blocos que se encontram mais suscetíveis à força das ondas são aqueles que apresentam um maior deslocamento do seu posicionamento inicial.

Semelhante à análise realizada, na Figura 6.15, comparou-se o corpo do esporão relativamente às ortofotos de 2008 e 2017.

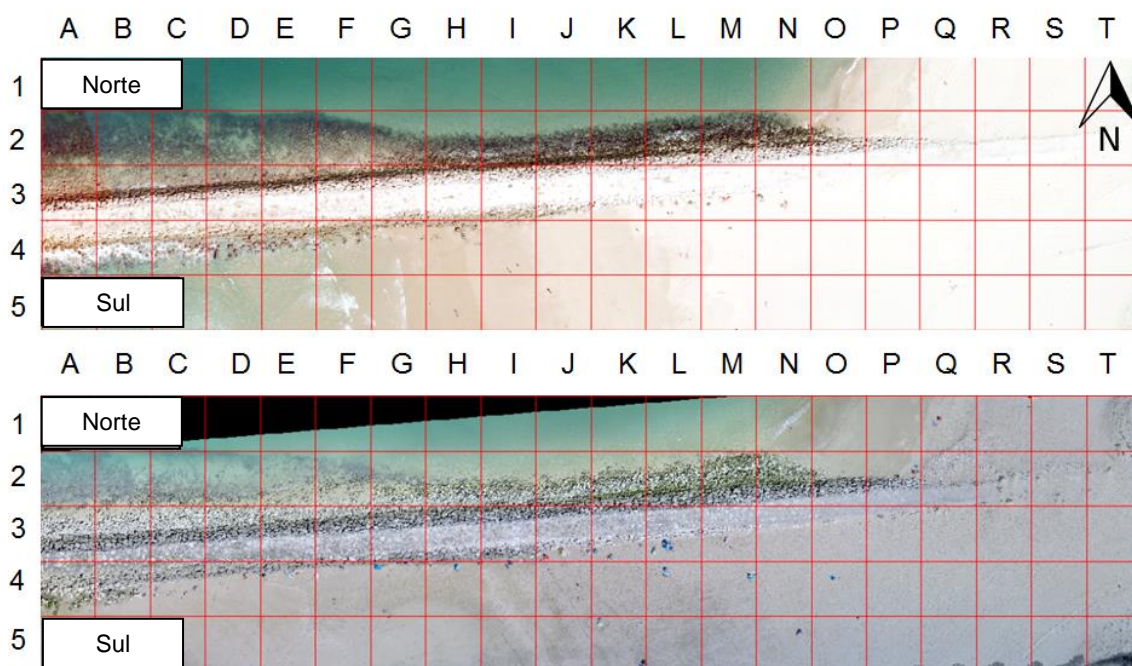


Figura 6.15 – Análise do corpo do esporão EV2 da Cova do Vapor entre a Ortofotografia de 2008 (imagem de cima) e a Ortofotografia de 2017 (imagem de baixo).

Aqui constata-se que junto à face norte do esporão há perda de sedimentos (erosão da linha de costa) e a sul ganhos (acrecção). Normalmente na costa portuguesa acontece o inverso, tal como referido no subcapítulo 2.5.3 - Obras de Proteção e defesa Costeira, onde normalmente há erosão a sotamar (sul) e acreção a barlamar (norte) do esporão. Tal inversão deve-se, predominantemente, por um lado ao efeito combinado dos esporões EV2 e EV1 da Cova do Vapor, que cria uma zona de maior resguardada à agitação e como tal contribui para que haja um maior encaixe de sedimentos e também ao facto da zona a norte do EV2 estar mais exposta às correntes que a foz do Tejo proporciona.

Como era de esperar, as maiores variações estruturais na obra ocorrem entre as ortofotografias de 2008 a 2017, onde pesa a maior diferença temporal entre estas, mas sobretudo e muito certamente, o facto de este período coincidir com alguns eventos extremos, da qual se destaca a tempestade *Hércules* no inverno de 2013/2014.

Ter presente que a melhor forma de rentabilizar este tipo de análise é obter levantamentos que coincidam com marés baixas de águas vivas e com agitação marítima o mais reduzida possível. O posicionamento solar também é importante, mas não afeta tanto a análise como o facto de a obra estar mais ou menos submersa devido a marés e à agitação marítima, embora para a análise colorimétrica já possa ter grande interferência face a variações de cores ou de sombras.

## Sobreposição 2D de Ortomosáicos

O estudo da sobreposição 2D entre diferentes períodos temporais baseou-se na análise das ortofotografias de 2008, 2014-2015 e 2017. O cálculo da diferença colorimétrica entre as ortofotografias foi obtido através do módulo *Raster Calculator* do *ArcGis*, onde as variações mais significativas no esporão surgem num tom mais claro e as de baixa variabilidade mais escura.

### *Sobreposição 2D entre a Ortofotografia de 2014-2015 e a Ortofotografia de 2017*

A sobreposição entre ambas as ortografias foi dividida em duas secções – a cabeça do esporão (secção 1) e o corpo e enraizamento deste (secção 2) – de forma a facilitar a interpretação dos resultados obtidos (Figura 6.16).

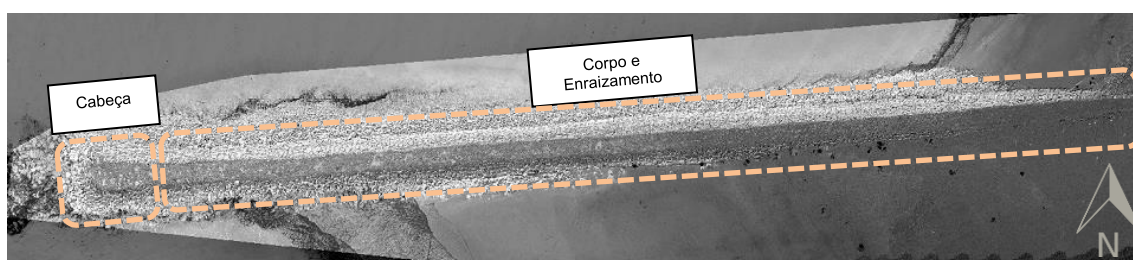


Figura 6.16 – Imagem da diferença entre a Ortofoto obtida pelos levantamentos realizados pelo *drone* em 2017 e a Ortofoto de 2014-2015 obtida por levantamentos convencionais. Esta imagem encontra-se dividida em dois sectores, nomeadamente a cabeça do esporão e o corpo e enraizamento deste. Imagem à escala 1: 1 500.

Na Figura 6.17 obteve-se, para a cabeça do esporão, a diferença cromática entre as ortofotografias de 2014-2015 e de 2017, a qual foi aproximada a uma escala de 1:300 e dividida em quatro quadrantes distintos.

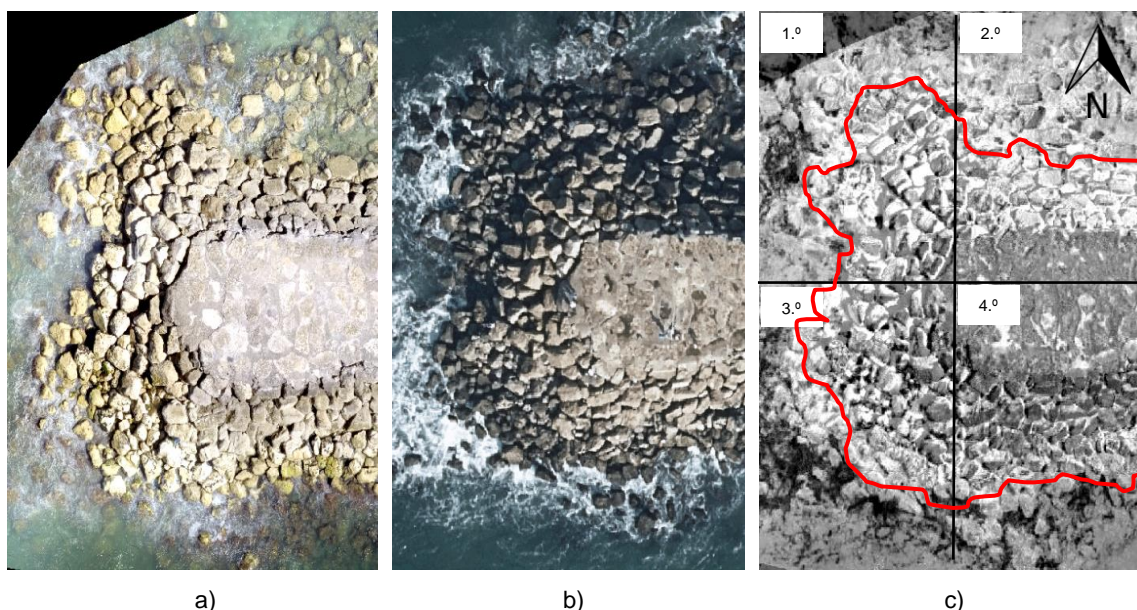


Figura 6.17– Análise da diferença (c) das Ortos 2017 (a) e 2014-2015 (b) para a cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor dividida em quatro quadrantes, a vermelho na imagem da diferença corresponde à linha de água (Escala 1:300).



Numa análise geral dos quatro quadrantes, permite-se constatar variações estruturais no comportamento dos enrocamentos, sendo maior no primeiro e no segundo quadrantes. No primeiro há a registar a influência que a agitação marítima induz na qualidade dos resultados obtidos. Apesar da menor qualidade devido à agitação, existe um padrão de crescente variabilidade dos enrocamentos que é proporcional à exposição da agitação marítima.

No segundo quadrante nota-se que a maior variação no comportamento dos enrocamentos tem relação com a cota a que estes se encontram, sendo que os que estão a cota mais baixa são os mais afetados.

No terceiro quadrante verificou-se uma baixa variação estrutural dos enrocamentos e as alterações evidenciadas decorrem mais da reduzida qualidade colorimétrica e da linha de água entre ortofotografias do que devido a variações estruturais.

Relativamente ao quarto quadrante, a alteração posicional dos blocos é significativamente inferior e que coincide com o facto de estar menos exposto à agitação marítima.

Através da sobreposição 2D, obteve-se a imagem da diferença do corpo do esporão até ao seu enraizamento, na qual utilizou-se novamente uma grelha de 20x20 metros (Figura 6.18).

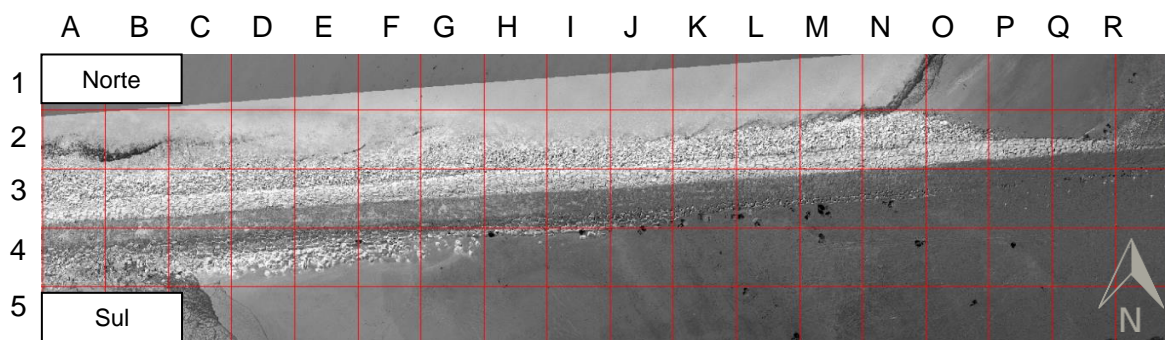


Figura 6.18 – Imagem da diferença entre a ortofotografia de 2014-2015 e 2017 para o corpo e o enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor a uma escala de 1: 1500.

No corpo do esporão verifica-se que não há alterações visíveis no coroamento do corpo do esporão (A4 a Q3). O coroamento do esporão neste troço apresenta uma variabilidade estrutural reduzida não só porque está mais resguardado da agitação como é composta por uma mistura de enrocamentos (*tout-ventant* e 9 a 12 tf) com betão no seu coroamento, que lhe conferem maior resistência estrutural.

Como evidenciado anteriormente, a presença de sombra derivada do posicionamento solar presente no corpo do esporão (A3 a P2), influência significativamente a qualidade dos resultados obtidos através deste tipo de análise. Relativamente às células C4 a G4, o tom claro deve-se à alteração no balanço sedimentar e não a movimentos dos enrocamentos, sendo que em 2014-2015 encontravam-se visíveis, enquanto em 2017 estão enterrados.

Com base nesta comparação verifica-se que uma parte significativa dos enrocamentos entre as células K2 e O2 alteraram a sua posição, tal como constatado anteriormente na ortofotografia

de 2014-2015. Uma vez que este tipo de enrocamentos são de baixo peso, o posicionamento destes pode ser de fácil alteração face à agitação marítima constante.

Para o conjunto de resultados analise, o corpo e o enraizamento do esporão apresenta menores variações estruturais relativamente às evidenciadas na cabeça, o que coincide com o expectável para o presente caso de estudo, uma vez que é significativamente maior a exposição à agitação da cabeça do esporão do que nos restantes troços deste.

#### *Sobreposição 2D entre a Ortofotografia de 2008 e a Ortofotografia de 2017*

Para esta análise realizou-se uma análise fotogramétrica, a uma escala de 1:1500, da cabeça do esporão e do seu corpo e enraizamento entre as ortofotos de 2008 e a de 2017, como mostrado na Figura 6.19.

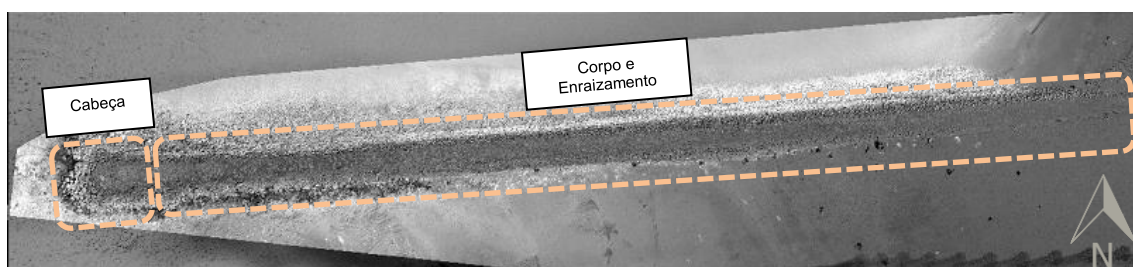


Figura 6.19- Imagem da diferença entre a Ortofoto obtida pelos levantamentos realizados pelo *drone* em 2017 e a Ortofoto de 2008 obtida por levantamentos convencionais. Esta imagem encontra-se dividida em dois sectores, nomeadamente a cabeça do esporão e o corpo e enraizamento deste. Imagem à escala 1:1500.

Para análise deste período e para os objetivos a atingir, pesa a menor qualidade da ortofoto e a interferência causada pelas sombras do diferente posicionamento solar e o efeito provocado pela agitação marítima durante o seu levantamento. Relativamente à cabeça do esporão, esta foi igualmente dividida em quatro quadrantes (Figura 6.20).

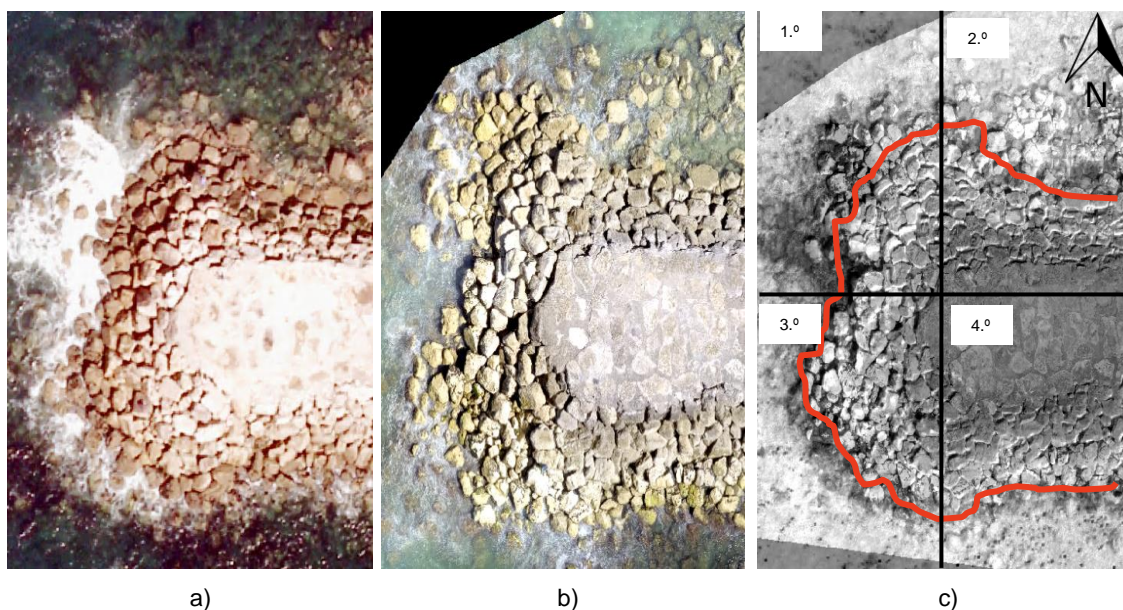


Figura 6.20– Análise da diferença (c) das Ortos 2017 (a) e 2014-2015 (b) para a cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor dividido em quatro quadrantes, a vermelho na imagem da diferença corresponde à linha de água (Escala 1:300).

No primeiro quadrante constatou-se novamente a influência das ondas, aquando do momento dos levantamentos, neste tipo de análise. Neste também verificou-se que, na proximidade do coroamento do esporão, os enrocamentos apresentaram uma variação mais baixa do que os enrocamentos a cotas mais baixas.

Relativamente ao segundo e terceiro quadrante, observou-se que o coroamento do esporão não sofreu qualquer tipo de alteração. No segundo quadrante constatou-se uma reduzida variação no comportamento do talude, mesmo estando distantes do coroamento do esporão e em exposição direta à agitação do mar. O quarto quadrante apresentou a menor variabilidade dos quatro quadrantes.

O resultado da imagem da diferença entre a ortofotografia de 2008 e 2017 para o corpo do esporão até ao seu enraizamento é apresentado na figura seguinte (Figura 6.21).

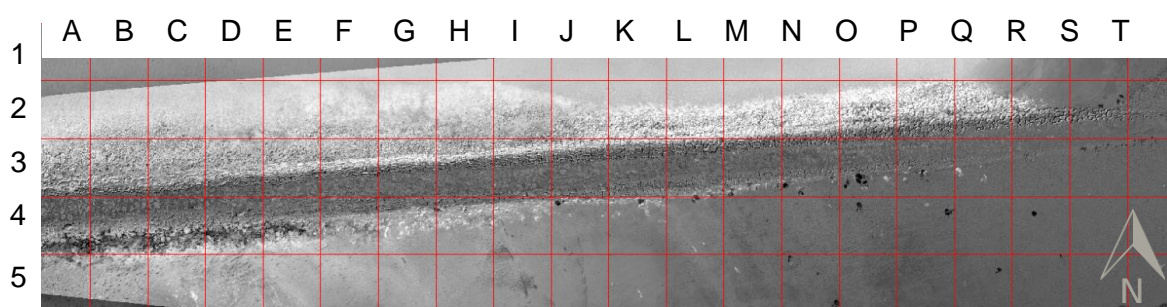


Figura 6.21– Imagem da diferença entre a ortofotografia de 2008 e 2017 para o corpo e o enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor a uma escala de 1: 1000.

Tal como observado na sobreposição entre a Ortofotografia de 2014-2015 e 2017, o corpo e o enraizamento, nesta análise, encontram-se estruturalmente estáveis, não apresentando variações no seu coroamento.

Entre o conjunto das células M2 a Q2, existiu variação no comportamento de parte dos enrocamentos, sendo que, na análise direta entre as ortofotos, estes encontram-se na sua posição inicial em 2008 enquanto em 2017 não. A alteração do seu posicionamento é inevitável, uma vez que estes enrocamentos são do tipo de TOT com elementos apresentando menos de 0,5 tf.

Na análise da sobreposição 2D realizada para as três diferentes datas, verificou-se a influência de três fatores nos resultados: o posicionamento solar, a diferença RGB das ortofotos e a agitação marítima no momento dos levantamentos.

Relativamente ao primeiro fator, na ortofoto de 2014-2015, é possível evidenciar a presença de uma sombra ao longo da transversal do esporão no momento dos levantamentos. Os levantamentos fotogramétricos, para a obtenção da ortofotografia de 2017, foram realizados na hora do meio-dia solar, o que implicou na ausência de sombras no ortomosaico obtido. A ausência de sombra na ortofoto de 2017 traduziu-se numa falsa alteração estrutural no resultado da diferença entre ortofotos.



Na Figura 6.22 observa-se, através da justaposição entre as ortofotografias de 2017, 2014-2015 e o resultado da sua sobreposição à direita, o efeito condicionador que a sombra induz nestes resultados.



Figura 6.22 – Justaposição entre a Ortofoto obtida pelo *drone* em 2017, a ortofoto de 2014-2015 e a imagem da diferença entre ambas as ortofotos.

A variação da coloração RGB entre as ortofotos, apesar de não ser muito significativa, é significativamente influenciada pelas sombras e evidenciada nos resultados da imagem da direita e que resulta da sobreposição dos dois momentos. Esta variação RGB pode decorrer da intensidade ou do ângulo solar como das especificações da máquina no momento da tomada de imagem. Também aqui a agitação marítima no momento dos levantamentos fotogramétricos é um fator que vai influenciar a qualidade dos resultados obtidos.

### Otimização colorimétrica de faces visíveis dos enrocamentos

Utilizando a ferramenta cromática *Image Processing Desing* do software *MatLab* R2017a e as ferramentas de processamento do *ArcGis*, é possível, alterando as configurações RGB das ortofotos, identificar faces dos enrocamentos do esporão que se encontrem dificilmente evidenciados devido à qualidade dos píxeis. Uma vez que a comparação direta entre ortofotografias pode ser falível, como atrás referido, pode utilizar-se esta ferramenta para apoiar análises cromatográficas, constituindo assim a mais uma abordagem na análise visual.

Para este tipo de análise fotogramétrica foi utilizada uma secção da cabeça e duas do corpo do esporão, as quais encontram-se ilustradas na figura seguinte (Figura 6.23)

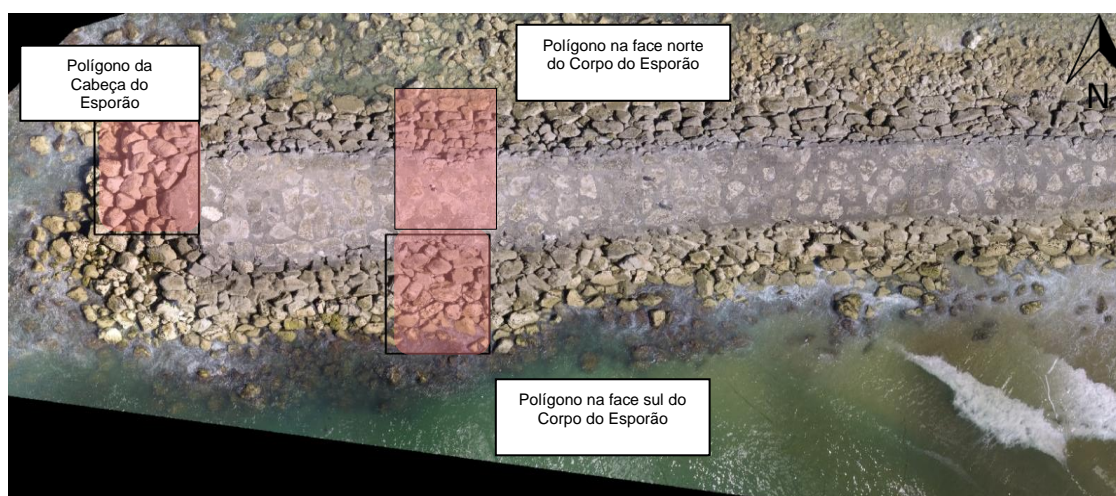


Figura 6.23— Porções utilizadas da cabeça e do prolongamento utilizadas para a análise de faces visíveis de diferentes Ortofotografias do Esporão EV2 da Cova do Vapor. Imagem à escala 1:250.

As secções do esporão utilizadas nesta abordagem têm uma área aproximada de 140 m<sup>2</sup> e um perímetro de 47 m. Tal como anteriormente, foram utilizados as ortofotos de 2008, 2014-2015 e 2017.

Na Figura 6.24 ilustram-se os diferentes resultados obtidos para a mesma secção (cabeça do esporão) através da modificação RGB das ortofotografias e com recurso a linhas de apoio (2x2m).

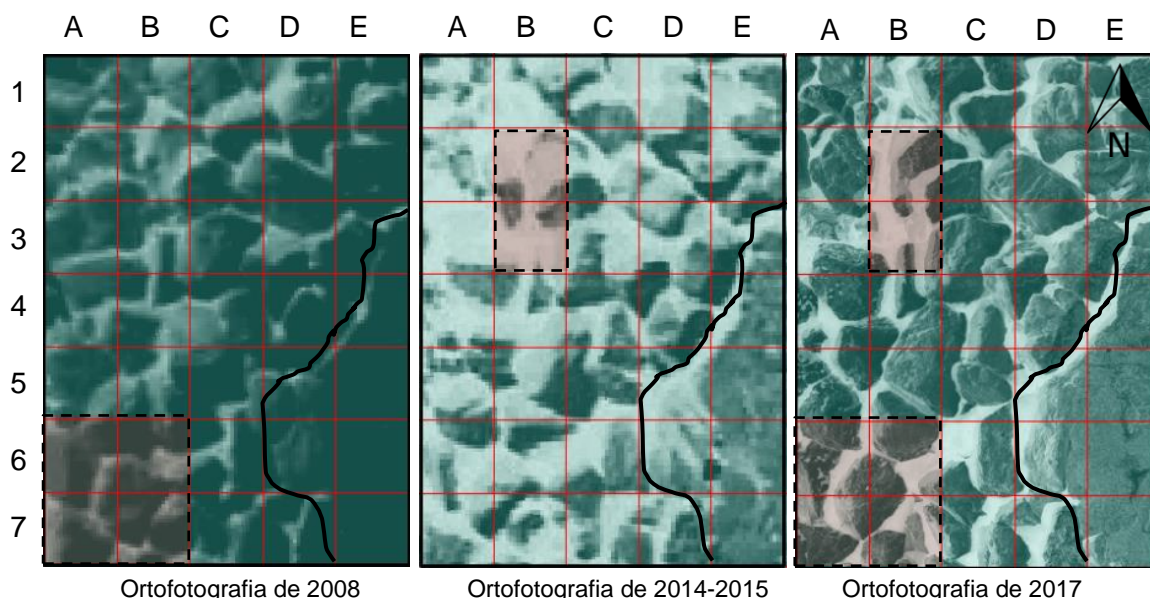


Figura 6.24 – Imagens extraídas das Ortofotografias de 2008, 2014-2015 e 2017 da secção de estudo da Cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma Escala 1:125 e com grelhas de apoio à análise. A linha a preto representa o coroamento do esporão.

Destas imagens conclui-se que a qualidade da ortofotografia obtida pelo *drone* (com um píxel de 0,017 m de largura) apresenta uma qualidade muito superior relativamente às outras ortofotografias. Apesar das diferenças de qualidade, é possível identificar algumas alterações no comportamento dos enrocamentos entre as datas consideradas.

Nas células A5 e A6 constata-se que ocorreu a deslocação de um dos blocos, comparando a ortofotografia de 2008 com as restantes. De referir que estes blocos têm pesos superiores a 9 tf.

Entre a ortofotografia de 2008 e a de 2017, no centro do polígono formado pelas células A6, B6, A7 e B7, verifica-se a deslocação de um enrocamento em direção ao mar. Com recurso às ferramentas de medição do *ArcGis*, calculou-se um deslocamento de aproximadamente 60 cm.

Entre a ortofotografia de 2014-2015 e a ortofotografia de 2017, nas células B2 e B3, aferiu-se um movimento (este para oeste) de um dos blocos de cerca de 20 cm (calculado com recurso às ferramentas do *ArcGis*)

Através da análise destas três ortofotografias na secção da cabeça do esporão, confirma-se que as secções mais próximas do coroamento do esporão apresentam maior estabilidade estrutural do que o nível inferior. Este facto pode verificar-se comparando as colunas D e E das ortofotografias da Figura 6.24, as quais apresentam blocos de 9 a 12 tf fixados com cimento.

Na Figura 6.25 representam-se as diferentes ortofotografias para a secção a norte do corpo do esporão:

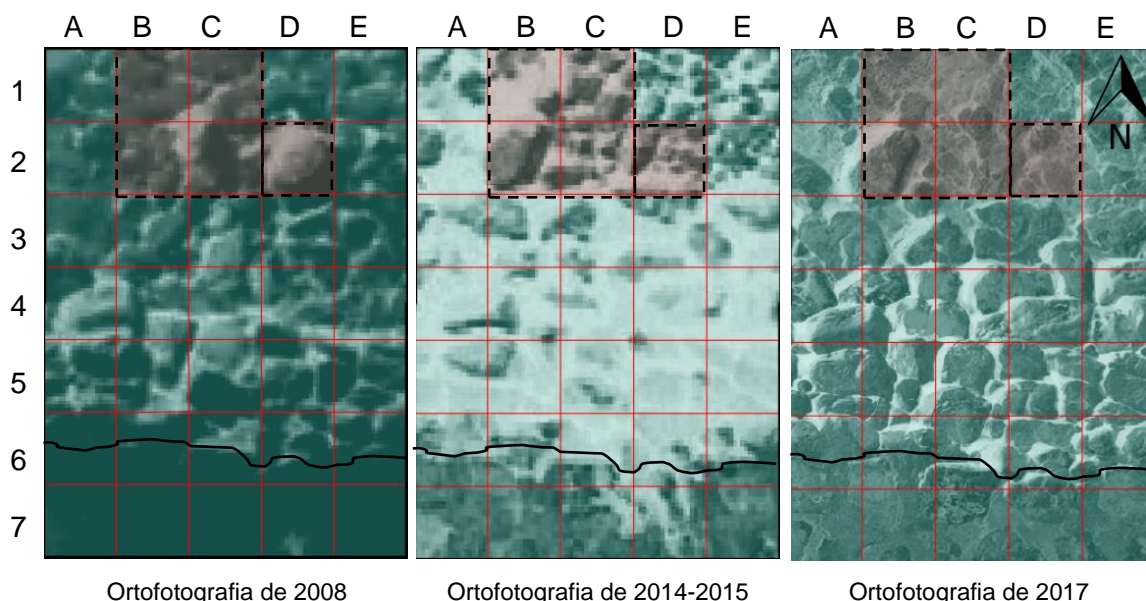


Figura 6.25 – As Ortofotografias de 2008, 2014-2015 e 2017 da secção de estudo do Corpo da face norte do Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma Escala 1:125 e com grelhas. A linha a preto representa o coroamento do esporão.

Na análise entre as diferentes ortofotografias para esta secção (face norte do corpo do esporão), constata-se um comportamento similar ao evidenciado na cabeça do esporão, ou seja, quanto maior a exposição à agitação marítima maiores as variações no posicionamento dos mesmos blocos.

Na ortofoto de 2008, na célula D2 é possível constatar um bloco de dimensões consideráveis (possivelmente de 9 a 12 tf), mas nas restantes ortofotos (2014-2015 e 2017), este bloco ou desapareceu ou partiu-se.

No quadrante formado pelas células B1, C1, B2 e C2, é evidenciado o deslocamento de um enrocamento de grandes dimensões, movendo-se de este para oeste, entre o ano de 2008 e 2014-2015. Com recurso às ferramentas do *ArcGis* estima-se um deslocamento de cerca de 90 cm.

Nas linhas 6 e 7, comprova-se a maior estabilidade estrutural da obra no seu corpo (principalmente no seu coroamento) pois, entre as diferentes ortofotografias, não apresentou qualquer variação estrutural assinalável. Este resultado era expectável, uma vez que esta secção (coroamento) não só se encontra mais afastada do efeito da agitação marítima como está fortalecida com cimento.

Uma vez que nesta secção as ortofotografias de 2008 e 2014-2015 apresentam baixa qualidade face à ortofotografia de 2017, não é possível retirar mais evidências sobre eventuais alterações que possam ter ocorrido.



Na Figura 6.26 representam-se as diferentes ortofotografias para a secção a sul do corpo do esporão. Nesta Figura verifica-se um comportamento estrutural menor entre os diferentes períodos uma vez que neste local a agitação marítima é menor que a norte e na cabeça do esporão.

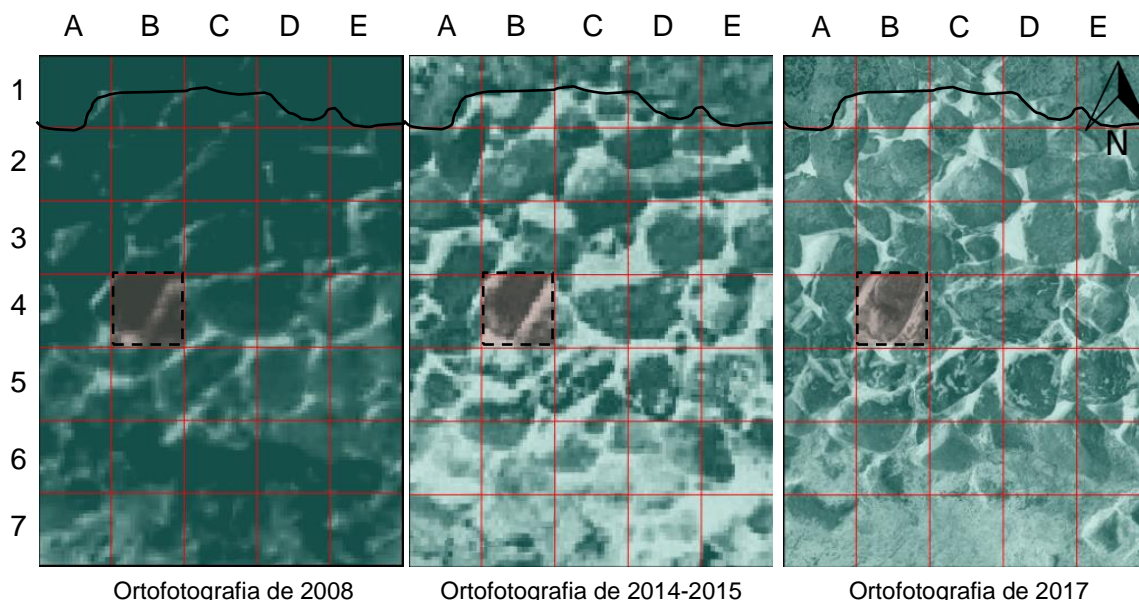


Figura 6.26 – As Ortofotografias de 2008, 2014-2015 e 2017 da secção de estudo do Corpo a face sul do Esporão EV2 da Cova do Vapor a uma Escala 1:125.

Comparando as diferentes ortofotografias confirma-se que a posição dos enrocamentos não sofreram alterações significativas. No entanto, como se verifica na célula B4, entre as ortofotos 2008 e 2014-2015, verificou-se um movimento do um bloco de, aproximadamente, 20 cm. A maior variabilidade observável na Figura 6.26 verifica-se nas linhas 6 e 7 onde o contato com a agitação marítima é maior.

A qualidade das ortofotografias, em particular a de 2008 e 2014-2015, é o fator condicionante para uma análise visual mais robusta. Ainda assim, é possível observar as variabilidades estruturais mais significativas entre os diferentes momentos das ortofotografias utilizadas.

### 6.1.2. Análise Quantitativa

Como referido previamente no subcapítulo 5.1.3 - Análise Quantitativa dos Modelos Digitais de Terreno, para o estudo quantitativo do esporão EV2 da Cova do Vapor realizaram-se três tipos de análises numéricas. Estas basearam-se na utilização do MDT obtido pelo LiDAR em 2011 e o modelo digital de terreno obtido pelos levantamentos fotogramétricos com recurso ao *drone* em 2017.

Na Figura 6.27a apresenta-se o modelo digital obtido para o levantamento LiDAR 2011 e que foi efetuado com câmara LiDAR e na Figura 6.27b o modelo digital de terreno obtido pelos levantamentos fotogramétricos com recurso ao *drone* em 2017

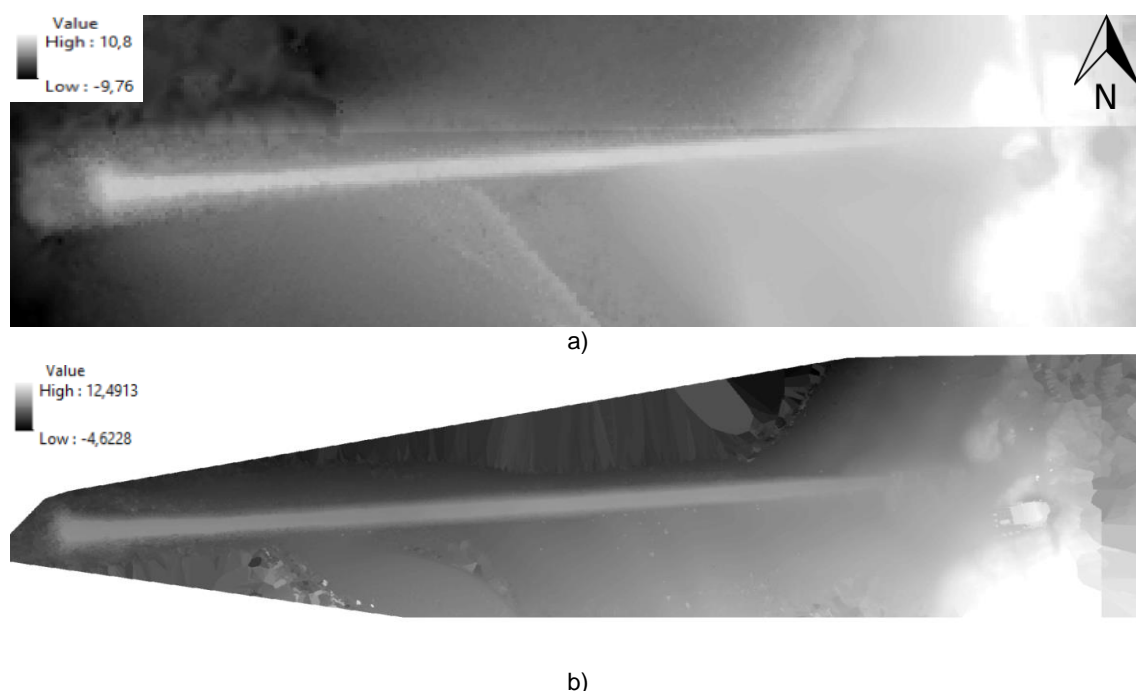


Figura 6.27 – a) Modelo digital de terreno obtido pelo LiDAR 2011 obtido com uma câmara LiDAR; b) Modelo digital de terreno obtido com levantamento obtido pelo *drone* em 2017. Ambos os modelos encontram-se a uma escala de 1: 2 000.

### Análise de Perfis de várias secções

Neste tipo de análise estudaram-se oito perfis de secções transversais, desde a cabeça até ao enraizamento do esporão, comparando-se o MDT de 2011 e o MDT de 2017 conforme identificados na Figura 6.28.



Figura 6.28 – Perfis transversais realizados ao Esporão EV2 da Cova do Vapor. A ortofotografia utilizada para a demonstração do posicionamento dos perfis é a ortofotografia de 2008 a uma escala de 1:2 000.

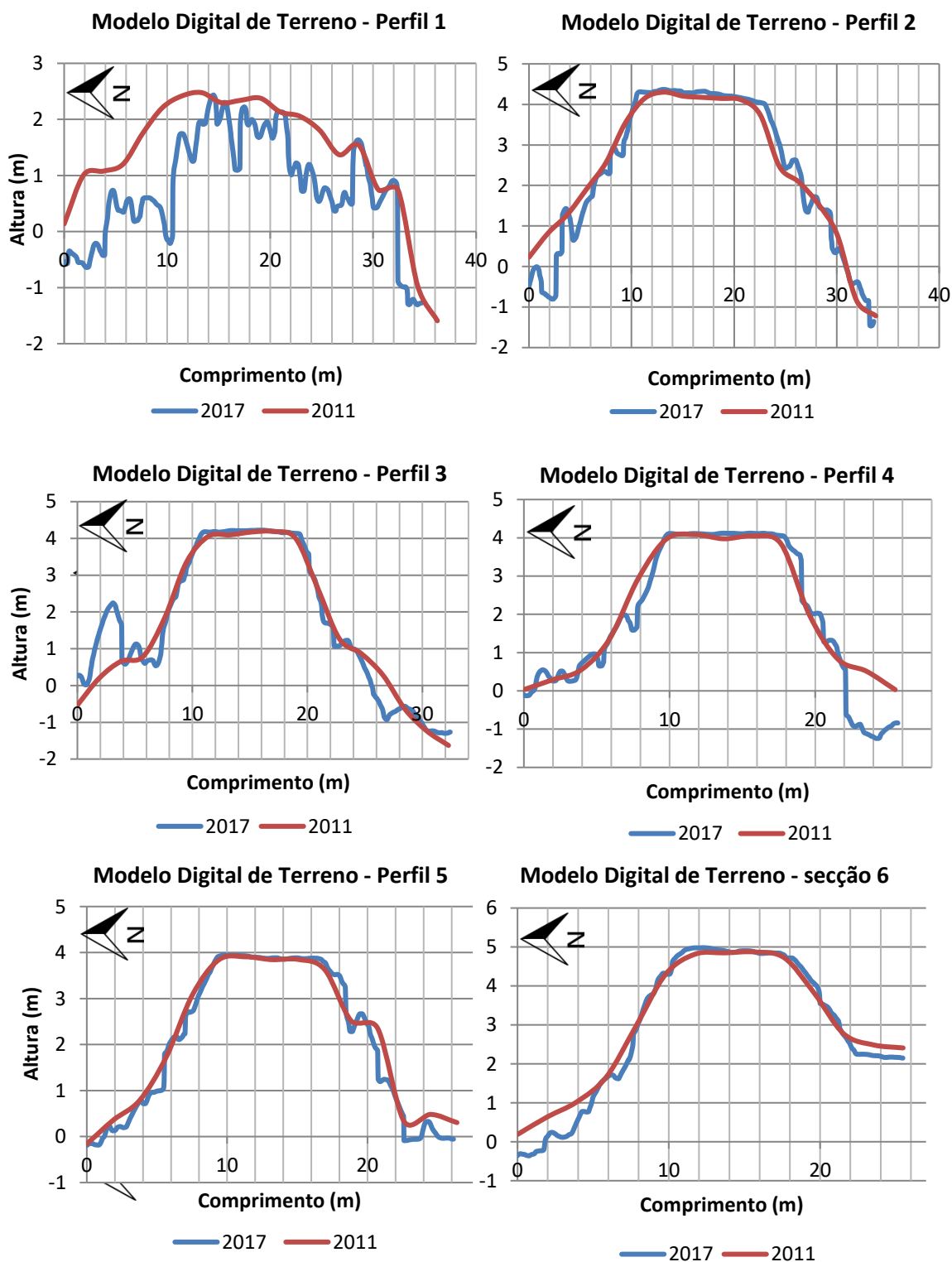
Na Tabela 12 aparecem alguns dados caracterizadores dos perfis estudados e que estão georreferenciados segundo o sistema geográfico WGS 1984 UTM – zone 29N.

Tabela 12 – Características dos perfis analisados no Esporão EV2 da Cova do Vapor

| Perfil | Comprimento (m) | Número de píxeis utilizados pelo LiDAR 2011 | Número de píxeis utilizados pelo MDT de 2017 |
|--------|-----------------|---|--|
| 1      | 32,26           | 20  | 2 019  |
| 2      | 34,08           | 19  | 1 955  |
| 3      | 32,46           | 18  | 1 885  |
| 4      | 25,91           | 15  | 1 493  |
| 5      | 25,73           | 15  | 1 520  |
| 6      | 25,69           | 14  | 1 481  |

|   |       |    |       |
|---|-------|----|-------|
| 7 | 25,57 | 14 | 1 503 |
| 8 | 27,84 | 18 | 1 926 |

Na Figura 6.29 são mostrados os resultados dos perfis transversais com base nos dados de 2011 e os de 2017, sendo que a origem dos perfis se encontra na face norte do esporão.



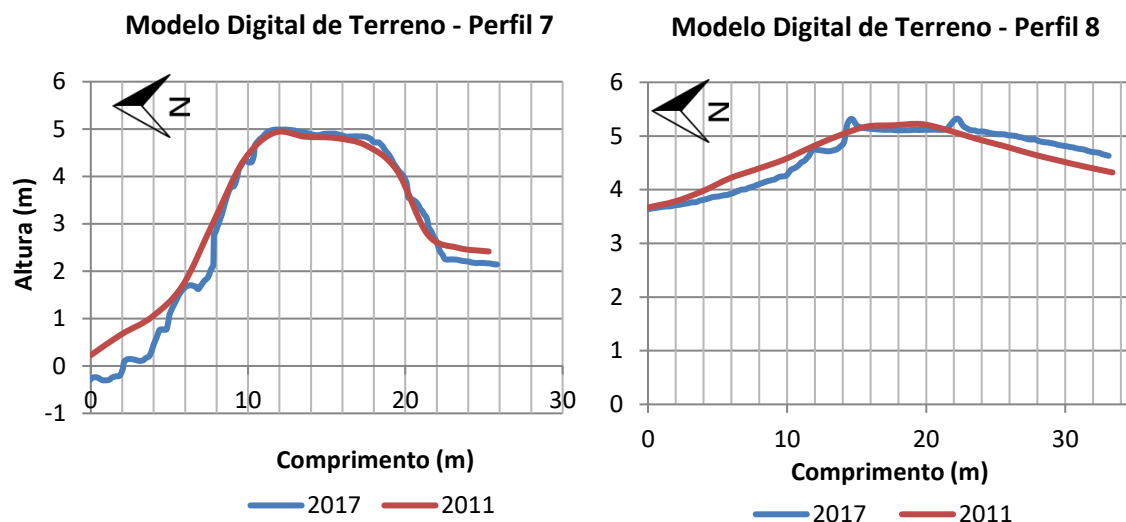


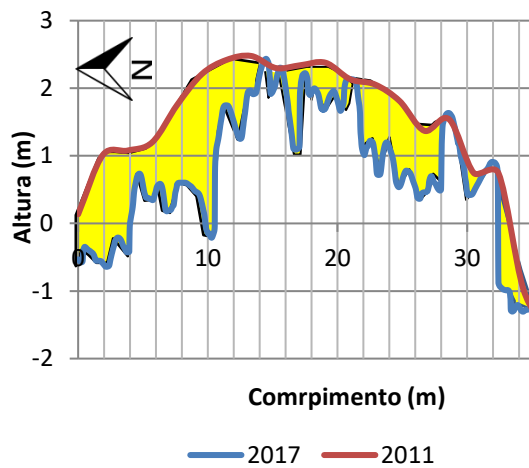
Figura 6.29– Perfis das oito secções transversais do esporão EV2, desde a sua cabeça até ao seu enraizamento.

Da análise dos oito perfis transversais obtidos para o esporão EV2 da Cova do Vapor, dois aspetos se evidenciam: O primeiro é que o levantamento de 2017 é muito mais preciso que o levantamento de 2011 ao apresentar um perímetro com mais contornos; O segundo é que, mesmo tratando-se de dados com qualidade muito distintas, a tendência dominante é do perfil de 2017 estar quase sempre a um nível inferior ao de 2011 o que é revelador da degradação do esporão decorridos cerca de seis anos. Este tipo de análise indicia várias alterações como sejam assentamentos, escorregamentos e perda ou mobilidade do material do enrocamento e que é tanto maior quanto maior for o afastamento entre as duas linhas. Outro aspeto que é evidenciado nestes dados é que essas alterações são significativamente maiores na cabeça do esporão e, ao longo do corpo do esporão, a face norte tem tendência a apresentar maiores alterações que a face sul. Na situação onde a linha de 2017 está claramente acima da linha da 2011, no perfil 3, leva a suspeitar, uma vez que não houve obras de reparação entretanto, que houve um bloco que se movimentou duma outra seção para esta e, muito provavelmente envolveu o seu deslizamento de um nível superior para um inferior.

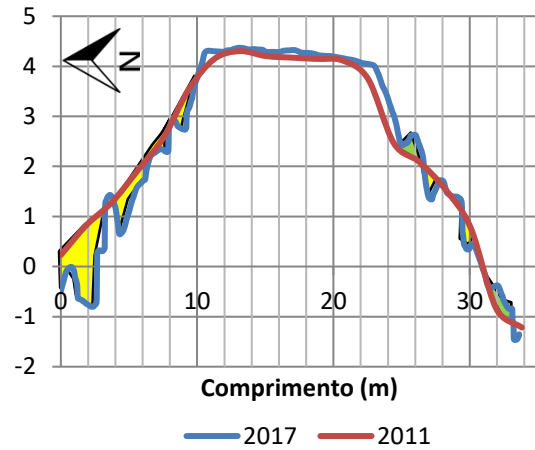
#### *Variações entre os modelos digitais de terreno*

Na Figura 6.30 apresenta-se os perfis transversais das secções do esporão EV2 da Cova do Vapor, no qual a amarelo estão representadas as perdas de enrocamentos entre o período de referência de 2011 (linha vermelha) e o MDT obtido em 2017 (linha azul) e a verde os deslizamentos/escorregamentos dos enrocamentos.

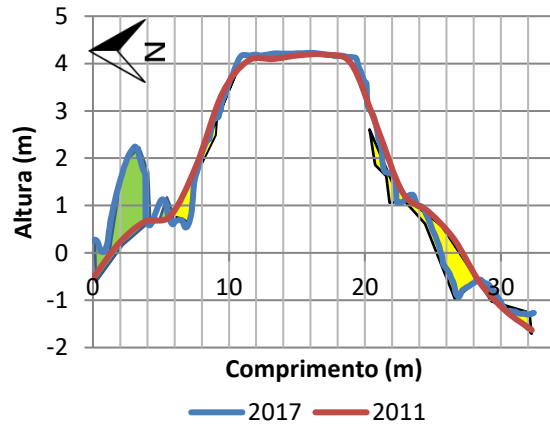
**Modelo Digital de Terreno - Perfil 1**



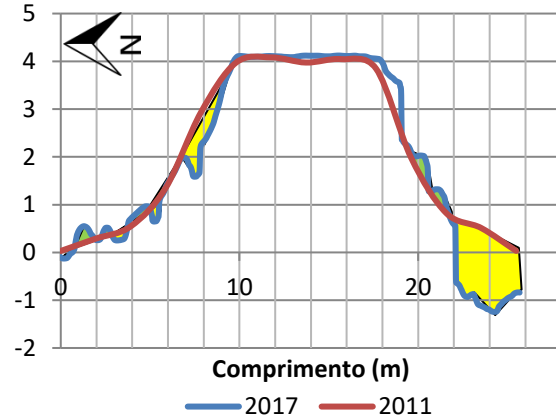
**Modelo Digital de Terreno - Perfil 2**



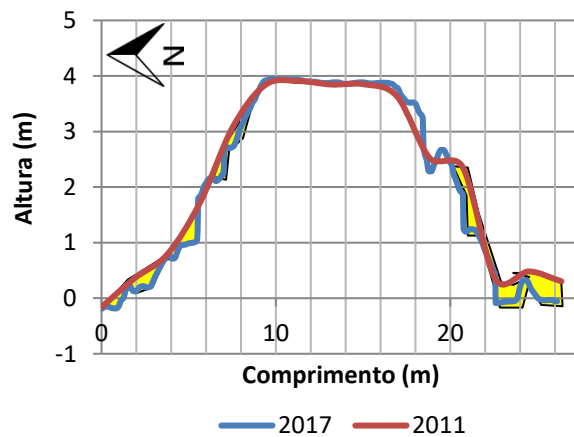
**Modelo Digital de Terreno - Perfil 3**



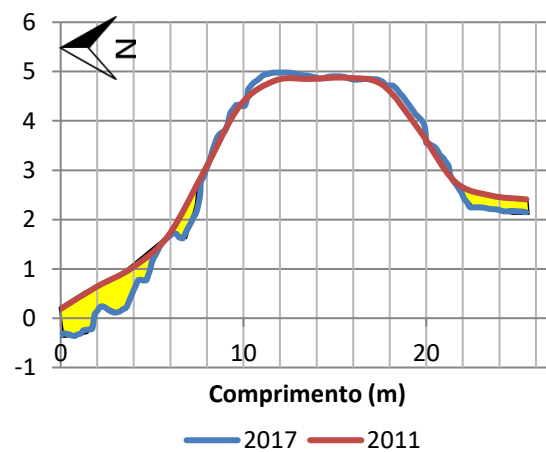
**Modelo Digital de Terreno - Perfil 4**



**Modelo Digital de Terreno - Perfil 5**



**Modelo Digital de Terreno - Perfil 6**



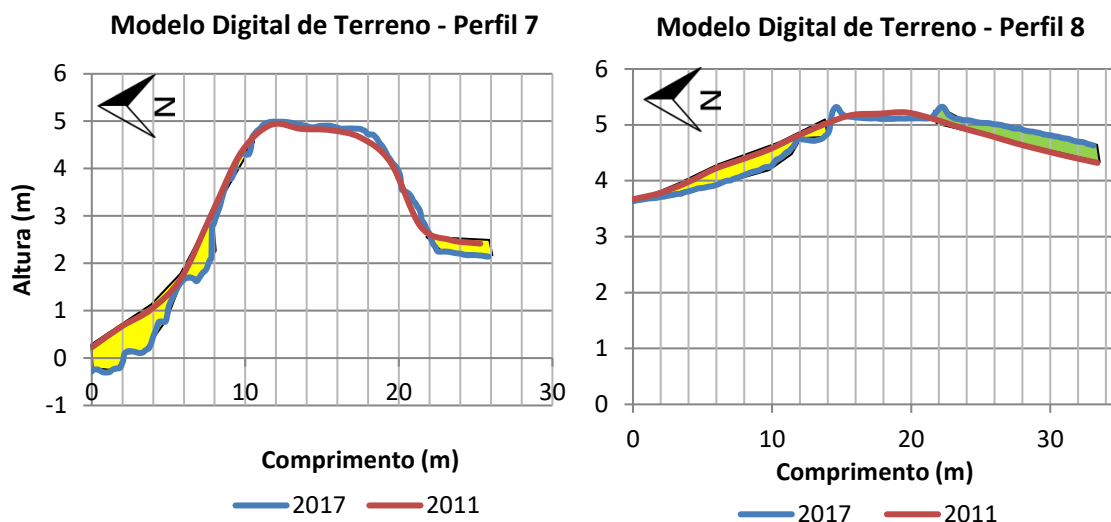


Figura 6.30– Perfis das oito secções transversais do esporão EV2, desde a sua cabeça até ao seu enraizamento, no qual a amarelo corresponde a perdas e a verde os deslizamentos dos enrocamentos

Para o cálculo da variação volumétrica do esporão EV2 da Cova do Vapor não foi utilizado o perfil 8, uma vez que parte do enraizamento do esporão encontra-se coberto por sedimentos, o que não permite o cálculo da variação deste. Na seguinte tabela (Tabela 13), encontram-se representadas as alterações quantificadas nos perfis transversais ilustrados anteriormente.

Tabela 13 - Alterações quantificadas nos perfis transversais realizados para o esporão EV2 da Cova do Vapor

| Perfil | Variação a Norte do esporão (m <sup>2</sup> ) | Variação a Sul do Esporão (m <sup>2</sup> ) | Enrocamentos Perdidos (m <sup>2</sup> ) | Enrocamentos Deslizados (m <sup>2</sup> ) | Total (m <sup>2</sup> ) |
|--------|---|---|---|---|-------------------------|
| 1      | 17,0  | 7,8   | 24,8                                    | 0,0                                       | 24,8                    |
| 2      | 5,5   | 2,5   | 6,5                                     | 1,5                                       | 8,0                     |
| 3      | 5,0   | 3,5   | 4,0                                     | 4,5                                       | 8,5                     |
| 4      | 2,5   | 5,0   | 6,5                                     | 1,0                                       | 7,5                     |
| 5      | 2,5   | 2,5   | 5,0                                     | 0,0                                       | 5,0                     |
| 6      | 4,0   | 1,0   | 5,0                                     | 0,0                                       | 5,0                     |
| 7      | 5,0   | 1,0   | 6,0                                     | 0,0                                       | 6,0                     |
| Total  | 24,5  | 15,5  | 57,8                                    | 7,0                                       | 64,8                    |

Da análise da tabela anterior, entende-se que o perfil 1 (representando a frente do esporão) é o que apresenta uma maior variação entre o MDT de 2011 e o MDT de 2017. Da mesma análise, observa-se que, quanto mais nos aproximamos do corpo e do enraizamento do esporão, menor é a variabilidade quantificada por perfil. De referir que houve uma maior variação dos enrocamentos a norte do esporão, nos quais, uma significativa parte ocorre por perda dos enrocamentos. Na seguinte figura (Figura 6.31) encontra-se representado os vários perfis realizados para o esporão EV2, onde o ponto A<sub>0</sub> representa o ponto o qual o esporão emerge teoricamente, ou seja, a origem da cabeça deste e o A<sub>8</sub> o final deste, enquanto as linhas A<sub>n</sub> representam os perfis realizados para cada secção transversal do esporão.



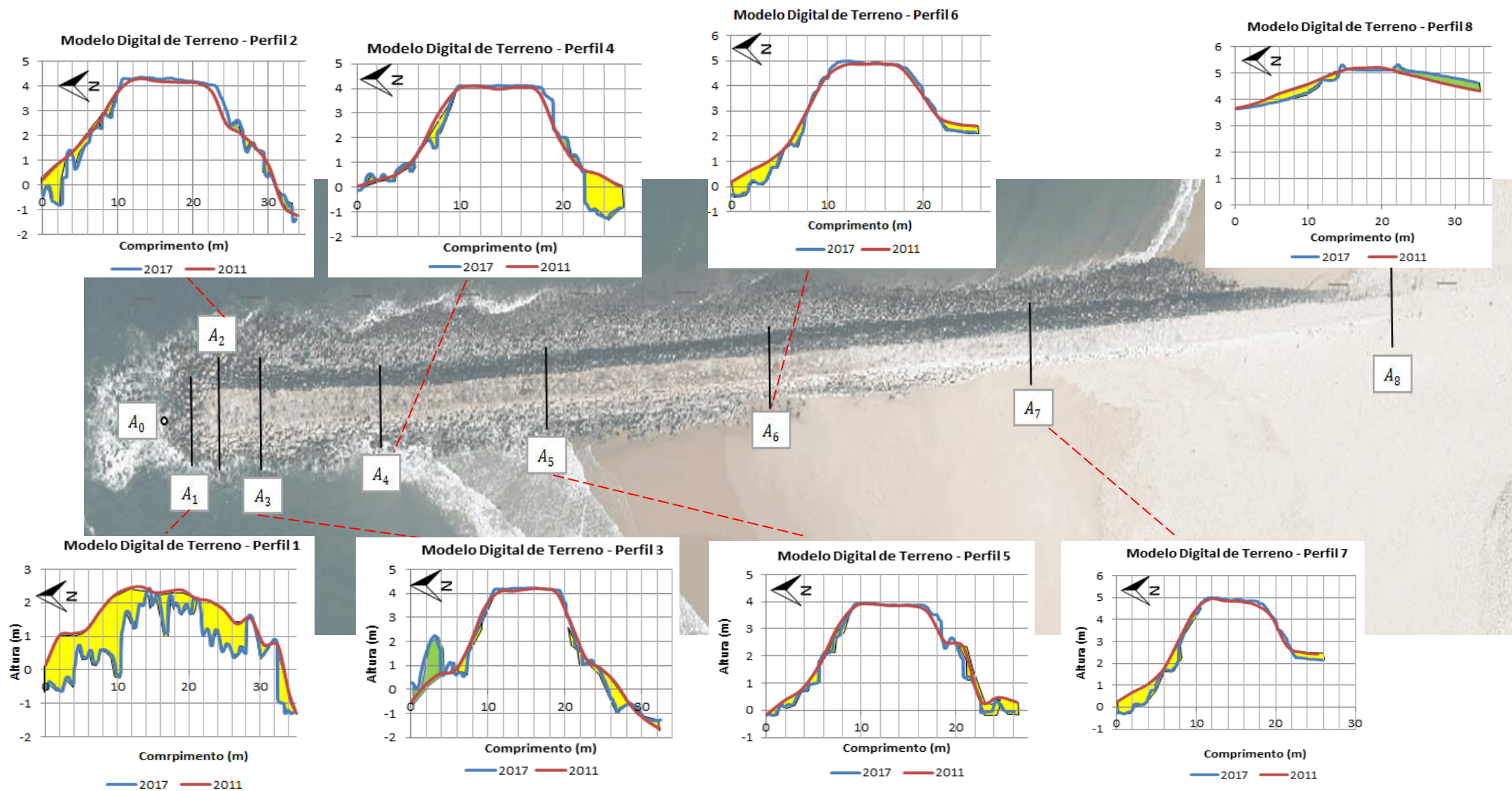


Figura 6.31- Representação dos perfis realizados por cada secção do esporão EV2 da Cova do Vapor, com as respetivas perdas e deslizamentos dos enrocamentos

Na Figura 6.32 encontra-se representado as variações quantificadas para cada perfil, nos quais os deslizamentos/escorregamentos e as perdas dos enrocamentos são contabilizadas como variações ocorridas nos enrocamentos.

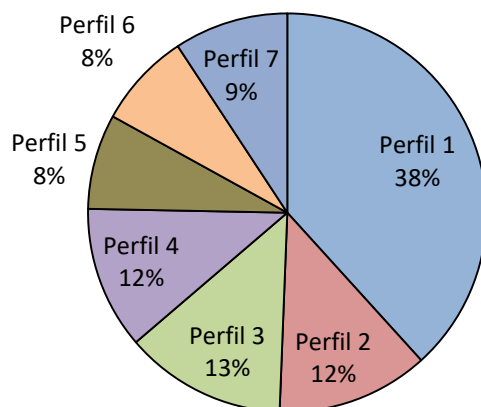


Figura 6.32 – Variação quantificada dos enrocamentos nos oito perfis realizados entre 2011 e 2017

Os três primeiros perfis das secções analisadas representam a cabeça do esporão, sendo que estes constituem a 63% da variabilidade quantificada dos perfis em análise, enquanto os perfis que representam o corpo do esporão representam 28%. Para o cálculo volumétrico das oito secções que dividem o esporão EV2 da Cova do Vapor, como referido na Metodologia Geral (subcapítulo 5.1), utilizou-se a seguinte expressão:

$$V_n = \frac{A_{(n-1)} + A_n}{2} \times d_{(A_{(n-1)} - A_n)}$$

Na Figura 6.33 estão representados os oito troços volumétricos utilizados para o cálculo da alteração volumétrica ocorrida no esporão. Uma vez que o Perfil 8 encontra-se coberto por sedimentos, assumiu-se a mesma variação dos enrocamentos que a evidenciada no Perfil 7. Nesta figura, o  $V_n$  representa os sectores volumétricos utilizados para o cálculo da variação.

Na Tabela 14 encontra-se calculado a variação de cada troço, no qual quantificou-se os valores da variação dos enrocamentos a norte e a sul deste e a variação total do esporão, desde o ponto onde o esporão emerge teoricamente ( $A_0$ ) até ao seu enraizamento ( $A_8$ ).

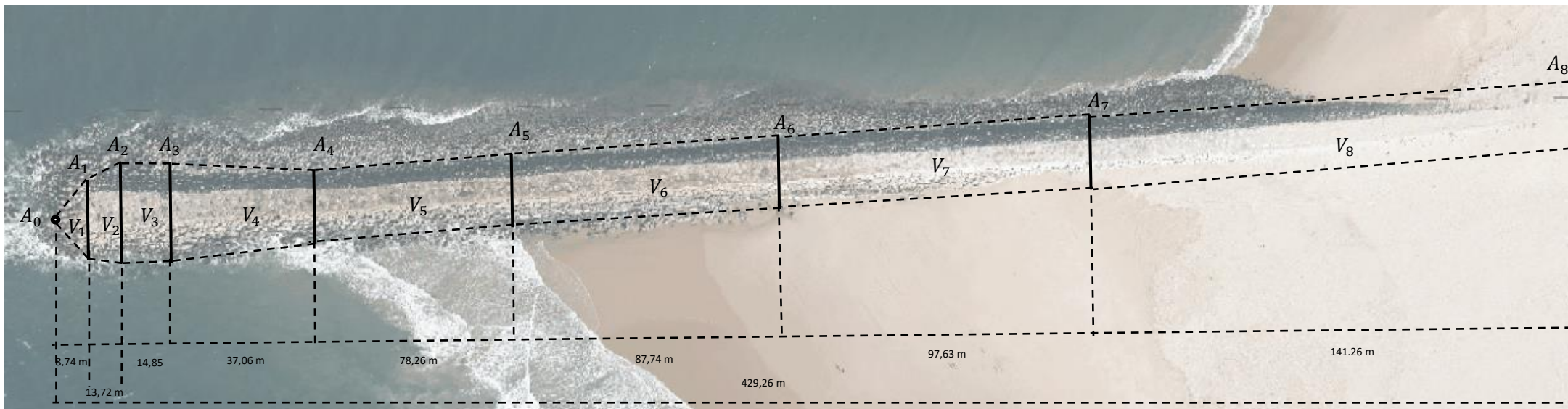


Figura 6.33 – Representação dos oito troços utilizados para o cálculo da variação ocorrida no esporão EV2 da Cova do Vapor entre 20111 e 2017

Tabela 14 – Cálculo da variação dos enrocamentos por troço no esporão EV2 da Cova do Vapor.

| Secção volumétrica | Variação média entre secções (m²) | Distância entre secções (m) | Distância da origem (m) | Variação a norte (m³) | Variação a norte desde a origem (m³) | Variação a sul (m³) | Variação a sul desde a origem (m³) | Variação por perda de enrocamentos desde a origem (m³) | Variação por deslizamento de enrocamentos desde a origem (m³) | Variabilidade total por secção (m³) | Variabilidade desde a origem (m³) | Peso desde a origem (toneladas) |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------------------------|--|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| V1                 | 12,40                             | 8,74                        | 8,74                    | 148,58                | 148,58                               | 68,17               | 68,17                              | 216,75   | 0,00  | 216,75                              | 216,75                            | 346,80                          |
| V2                 | 16,40                             | 13,72                       | 22,46                   | 154,35                | 302,93                               | 70,66               | 138,83                             | 431,47   | 10,29   | 225,01                              | 441,76                            | 706,82                          |
| V3                 | 8,25                              | 14,85                       | 37,31                   | 77,96                 | 380,89                               | 44,55               | 183,38                             | 509,43   | 54,84   | 122,51                              | 564,27                            | 902,84                          |
| V4                 | 8,00                              | 37,06                       | 74,37                   | 138,98                | 519,87                               | 157,51              | 340,89                             | 704,00   | 156,755   | 296,48                              | 860,75                            | 1 377,20                        |
| V5                 | 6,25                              | 78,26                       | 152,63                  | 195,65                | 715,52                               | 293,48              | 634,36                             | 1 153,99   | 195,89  | 489,13                              | 1 349,88                          | 2 159,80                        |
| V6                 | 5,00                              | 87,74                       | 240,37                  | 285,16                | 1 000,67                             | 153,55              | 787,91                             | 1 592,69   | 195,89  | 438,70                              | 1 788,58                          | 2 861,72                        |
| V7                 | 5,50                              | 97,63                       | 338,00                  | 439,34                | 1 440,01                             | 97,63               | 885,54                             | 2 129,66   | 195,89  | 536,97                              | 2 325,54                          | 3 720,87                        |
| V8                 | 6,00                              | 141,26                      | 479,26                  | 494,41                | 1 934,42                             | 141,26              | 1 026,80                           | 2 765,33   | 195,89  | 635,67                              | 2 961,21                          | 4 737,94                        |

Face aos resultados obtidos, foi calculada uma variação total para o esporão de aproximadamente 2 961,21 m<sup>3</sup> (desde onde este emerge teoricamente até ao fim do seu enraizamento), equivalendo a 4 737,94 toneladas. Relativamente à variação por face, este apresentou uma variação de 1 934,42 m<sup>3</sup> e 1 026,80 m<sup>3</sup> a norte e a sul, respetivamente. O comportamento dos enrocamentos deu-se especialmente pela sua perda, representando 2765,33 m<sup>3</sup>, enquanto o deslizamento destes apresentou valores na ordem dos 195,89 m<sup>3</sup>.

Na seguinte figura encontram-se representados a variabilidade do esporão por face e pelo tipo de variação ocorrida, entre 2011 e 2017.

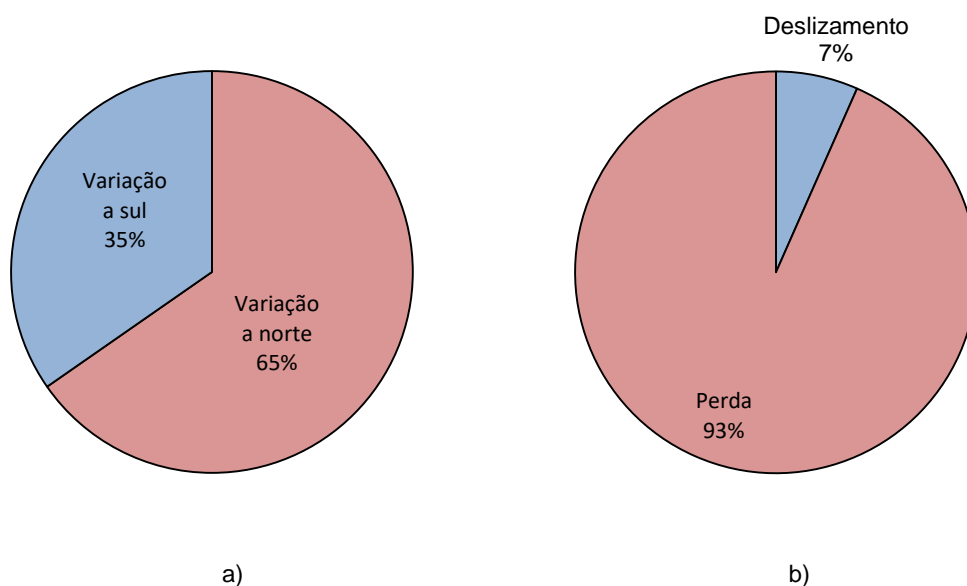


Figura 6.34 – a) Variação dos enrocamentos por face (norte e sul); b) Variação dos enrocamentos por tipo de alteração.

Da análise dos gráficos na figura anterior, pode observar-se que a variação a sul do esporão corresponde a 35%, enquanto os restantes 65% correspondem à variação dos enrocamentos ocorrida a norte. Do tipo de variação ocorrida, 93% ocorrem por perdas/assentamentos e 7% por deslizamento/escorregamentos dos enrocamentos.

Relativamente à variação ocorrida por comprimento de cada troço, os que apresentaram uma maior variação foram os troços que se encontram mais próximos da cabeça do esporão, na seguinte figura (Figura 6.35) encontra-se representado este indicador.

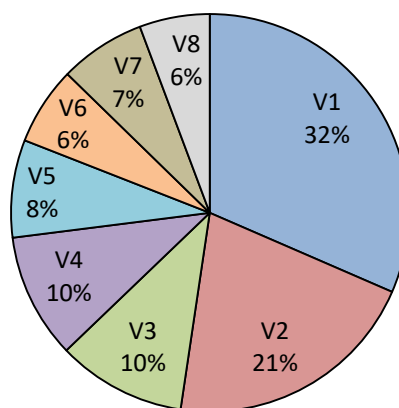


Figura 6.35 – Representação da variação dos enrocamentos por comprimento de cada troço

Apesar de haver uma maior variação estrutural ocorrida nas secções mais longe da cabeça do esporão, é necessário ter em consideração que estas secções também apresentam comprimentos bastante superiores às secções utilizadas para quantificar a variação ocorrida na cabeça do esporão. Assim, a utilização deste indicador permite apurar que a maior variação ocorre nas secções da cabeça do esporão e nas que se encontram mais próximas a esta. Assim a variação vai diminuindo quanto mais nos aproximamos do enraizamento do esporão, uma vez que a incidência da agitação marítima é menor, como teoricamente previsto.

Este tipo de análise apenas consegue evidenciar deslizamentos/escorregamentos que ocorram paralelamente ao perfil da secção transversal, daí a apenas ter-se quantificado 7% da variação total para o deslizamento dos enrocamentos, quando na realidade este valor deve ser muito superior ao obtido.



### Metodologia baseada na diferença entre os valores de píxeis

Na seguinte figura (Figura 6.36) está representado as variações de altura entre o MDT obtido pelo LiDAR 2011 e o MDT de 2017, no qual a vermelho representa perdas de materiais, a azul acreções em resultado, geralmente, de deslocamentos e a amarelo sem variações altimétricas significativas.



Figura 6.36 - Esporão EV2 com a representação da diferença de altura entre o MDT obtido pelo LiDAR de 2011 e o MDT obtido pelo *drone* em 2017. A azul representa deslizamentos, a vermelho perdas de materiais e a amarelo sem alteração. Nas imediações deste, a azul representa acreção e a vermelho erosão dos sedimentos. Figura à escala 1:1 500.

Seguindo o pressuposto de haver ganhos estruturais nos esporões por deslizamentos nas zonas de depósito, os valores numéricos obtidos para os deslizamentos e para as perdas/assentamentos são alterações comportamentais na estrutura dos esporões, nos quais ambos são contabilizados como volumes que foram alterados entre os diferentes espaços temporais.

Para facilitar a leitura deste tipo de resultados, dividiu-se o esporão em várias secções, as quais podem ser observadas na Figura 6.37.



Figura 6.37 – Divisão do esporão EV2 em três diferentes secções (cabeça, prolongamento, e enraizamento) de forma a facilitar a análise dos resultados. Imagem a uma escala de 1: 1 250.

As características das três secções para este tipo de análise encontram-se na seguinte tabela:

Tabela 15 – Características das secções em estudo do esporão EV2 da Cova do Vapor

| Secção       | Perímetro (m) | Área (m <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------|------------------------|
| Cabeça       | 222,75        | 3 090,51               |
| Corpo        | 861,21        | 15 311,96              |
| Enraizamento | 201,27        | 2 112,33               |



### *Análise da cabeça do esporão*

As variações na cabeça do esporão, entre os períodos em referência, apresentou variações de material nos seus enrocamentos de cerca de 710,86 m<sup>3</sup>, ou seja, aproximadamente 1 137,38 toneladas. Uma vez que a cabeça do esporão encontra-se submetida a diferentes agitações marítimas, esta foi dividida em três subsecções, nomeadamente a frente da cabeça, a norte e a sul desta, como se pode observar na Figura 6.38.

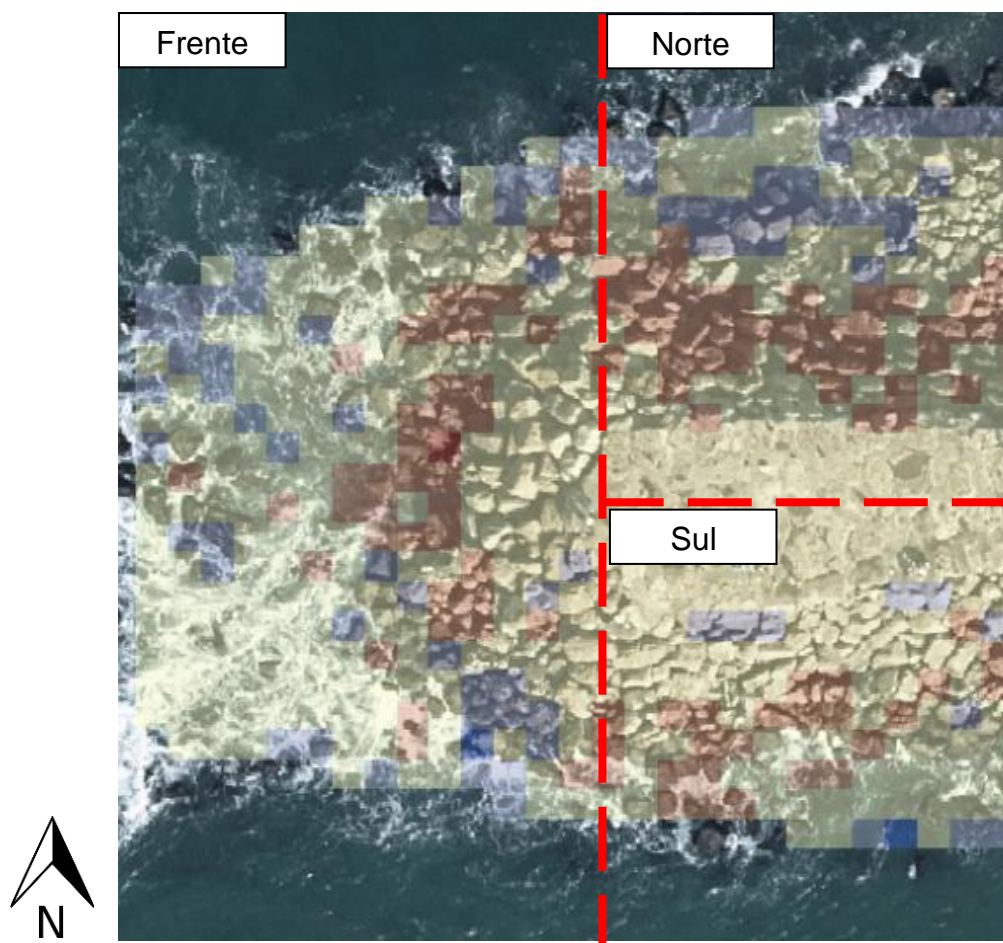


Figura 6.38 – Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos na cabeça do Esporão EV2 da Cova do Vapor. A azul representa os deslocamentos, a vermelho perdas e/ou assentamentos e a amarelo sem alteração Imagem a uma escala de 1:400.

Através da análise da Figura 6.38, observam-se os locais onde ocorreram deslizamentos na cabeça do esporão e que foram mais intensos na frente e a norte (tons vermelhos) do que a sul. Os tons a azul correspondem a locais de deposição do material que escorregou ou foi mobilizado de outros perfis pela agitação.

Na tabela seguinte (Tabela 16) estão representadas as variações volumétricas da cabeça do esporão, dividida nas suas subsecções, realizadas com base a agitação marítima incidente.

Tabela 16 – Variações volumétrico (ou espacial) da cabeça do esporão EV2 da Cova do Vapor face a diferentes subsecções

| Subsecção | Área (m <sup>2</sup> ) | Volume alterado (m <sup>3</sup> ) | Peso (t) | (%)    |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|----------|--------|
| Frente    | 1 292,09               | 681,36                            | 1 090,18 | 47,90  |
| Norte     | 889,29                 | 426,43                            | 682,29   | 30,01  |
| Sul       | 909,13                 | 313,96                            | 502,29   | 22,09  |
| Total     | 3 090,51               | 1 420,94                          | 2 273,50 | 100,00 |

Através da análise da Tabela 16, entende-se que a maior variabilidade estrutural na cabeça do esporão ocorreu na sua frente, apresentando uma variação de aproximadamente 681,36 m<sup>3</sup>, ou seja, 1 090,18 toneladas de enrocamentos.

De salientar que a norte ocorreu uma variação estrutural bastante superior à presenciada a sul da cabeça, no qual a norte os défices foram cerca de 426,43 m<sup>3</sup> e a sotamar 313,93 m<sup>3</sup>, ou seja, uma diferença entre ambos de aproximadamente 180 toneladas.

No seguinte gráfico (Figura 6.39) observam-se as alterações estruturais obtidas por subsecção na cabeça do esporão, no qual foi calculado uma variabilidade estrutural de 47,90% para a frente, 30,01% para norte e 22,09% para sul da cabeça.

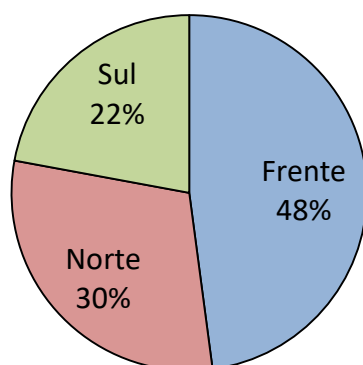


Figura 6.39 - Variabilidade estrutural da cabeça do esporão EV2 da Cova do Vapor por subsecções entre o MDT de 2011 e 2017.

Os valores obtidos relativamente à secção da cabeça do esporão são os teoricamente previstos, uma vez que a frente e a norte da cabeça desta secção são os sectores que se encontram em contacto com uma maior agitação marítima. Como referido anteriormente, quanto maior a agitação marítima, maior será a variabilidade estrutural numa determinada secção.

### Análise do corpo do esporão

Similarmente ao ocorrido na cabeça do esporão, o corpo deste também se encontra submetido à ação da agitação marítima embora com diferentes exposições, consoante se trate da face norte ou sul do corpo do esporão e que tem consequências no seu comportamento. Na Figura 6.40 são visíveis os resultados dessa análise sendo que a face norte apresenta maior mobilidade que a face sul e que é expectável uma vez que a face norte está mais exposta à ação das águas e a face sul tem ainda o efeito protetor da praia que lhe é contígua.



Figura 6.40 – Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos no prolongamento do Esporão EV2 da Cova do Vapor. A azul representa os locais de depósito dos deslizamentos, a vermelho perdas e/ou assentamentos e a amarelo sem alteração. Ortofotografia de 2014-2015

Na tabela seguinte (Tabela 17) estão representados os valores calculados para o presente troço.

Tabela 17 - Variações estruturais do corpo do esporão EV2 da Cova do Vapor a norte e a sul

| Subsecção | Área (m <sup>2</sup> ) | Volume Alterado (m <sup>3</sup> ) | Peso (t) | (%)   |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|----------|-------|
| Norte     | 7 400,32               | 724,32                            | 1 158,91 | 62,61 |
| Sul       | 7 406,20               | 432,64                            | 692,224  | 37,39 |
| Total     | 14 806,52              | 1 156,96                          | 1851,13  | 100   |

Interpretando a tabela anterior (Tabela 17), entende-se que a norte do corpo do esporão ocorre a maior alteração no comportamento dos enrocamentos estrutural deste troço, apresentando uma variabilidade de aproximadamente 724,32 m<sup>3</sup>, enquanto a sul 432,64 m<sup>3</sup>. Na seguinte figura encontra-se representado, em percentagem, a variabilidade volumétrica do corpo do esporão por face (norte e sul).

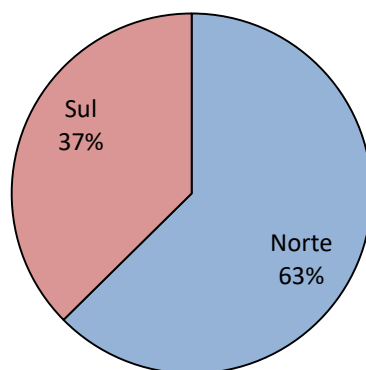


Figura 6.41- Variabilidade volumétrica do corpo do esporão EV2 da Cova do Vapor por subsecções entre o MDT de 2011 e 2017.

De referir que os blocos situados a sul nas banquetas do esporão são de pequenas dimensões o que, sem considerar as outras componentes (menor exposição e efeito da praia), teoricamente é menos robusta.

No total, houve uma variação de aproximadamente 1 156, 96 m<sup>3</sup> no corpo do esporão, equivalendo a cerca de 1 1851,13 toneladas de blocos perdidos e/ou mobilizados.

Importa no entanto ter em consideração algum erro associado à menor qualidade dos dados do LIDAR de 2011 e que, sem outros levantamentos da mesma época de maior precisão, é muito difícil de precisar qual a sua tendência, ou seja se agrava ou desagrava os resultados obtidos.

#### *Análise do enraizamento do esporão*

No enraizamento do esporão os dados são escassos uma vez que uma grande parte se encontra coberta por sedimentos o que impede qualquer leitura objetiva (Figura 6.43). Mas precisamente devido a essa situação é de presumir, com elevada segurança, que este troço não deve ter apresentado qualquer variação significativa.

Este sector foi dividido na sua face norte e sul, nos quais apenas foram contabilizados as variações volumétricas para os troços que não se encontram cobertos por sedimentos (Figura 6.42).

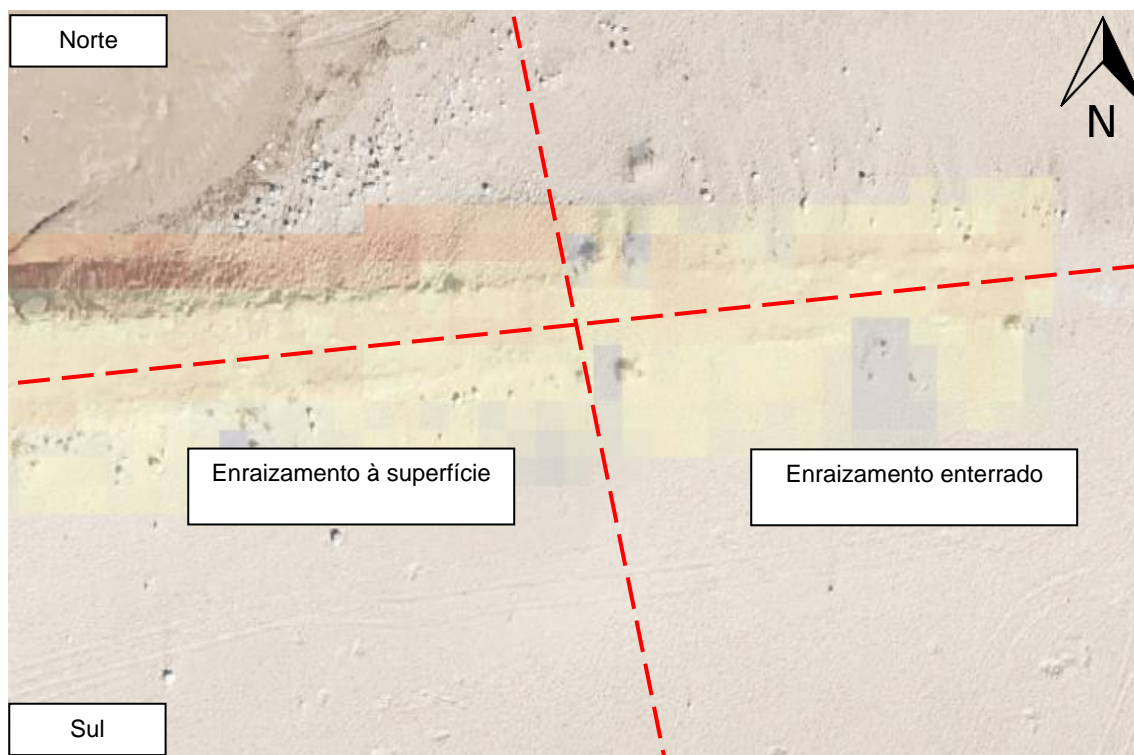


Figura 6.42 – Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos no enraizamento do Esporão EV2 da Cova do Vapor. Imagem a uma escala de 1:400.

Contabilizando apenas a estrutura do esporão no seu enraizamento à superfície, salientou-se que a variabilidade desta secção é muito baixa, na qual apresentou uma variabilidade total de apenas 76,72 m<sup>3</sup>, o equivalente a 122,75 toneladas, entre o período de referência.

Embora existam poucas diferenças entre ambos, há uma maior influência da agitação marítima a norte que a sul. A norte do enraizamento à superfície, houve uma variação volumétrica de aproximadamente 52,24 m<sup>3</sup>, enquanto a sul deste 21,48 m<sup>3</sup>.

Na seguinte tabela (Tabela 18) encontra-se representado esquematicamente as alterações volumétricas estrutural do enraizamento do esporão, consoante as características anteriormente referidas.

Tabela 18 - Variações estruturais do enraizamento do esporão EV2 da Cova do Vapor face a diferentes subsecções

|            | Secção | Área (m <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Peso (toneladas) | (%)   |
|------------|--------|------------------------|--------------------------|------------------|-------|
| Superfície | Norte  | 591,12                 | 55,24                    | 88,38            | 74,93 |
|            | Sul    | 502,85                 | 21,48                    | 34,37            | 25,07 |
| Total      |        | 1 093,97               | 73,72                    | 117,95           | 100   |

Na Tabela 19 encontram-se sintetizadas as secções e subsecções face à sua variação volumétrica, representada em volume e peso.

Tabela 19 – Variabilidade estrutural do esporão EV2 da Cova do Vapor

| Secção          | Subsecção | Área de secção (m <sup>2</sup> ) | Volume alterado (m <sup>3</sup> ) | Peso (t) | (%)    |
|-----------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|----------|--------|
| Cabeça          | Frente    | 1 292,09                         | 681,36                            | 1 090,18 | 25,66  |
|                 | Norte     | 889,29                           | 426,43                            | 682,29   | 16,06  |
|                 | Sul       | 909,13                           | 313,93                            | 502,29   | 11,82  |
| Somatório       |           | 3 090,51                         | 1 421,72                          | 2 274,75 | 53,54  |
| Corpo           | Norte     | 7 400,32                         | 724,32                            | 1 158,91 | 27,28  |
|                 | Sul       | 7 406,20                         | 432,64                            | 692,22   | 16,29  |
| Somatório       |           | 14 806,52                        | 1 156,96                          | 1 851,13 | 43,57  |
| Enraizamento    | Norte     | 591,12                           | 55,24                             | 88,38    | 2,08   |
|                 | Sul       | 502,85                           | 21,48                             | 34,37    | 0,81   |
| Somatório       |           | 1 093,97                         | 76,72                             | 122,75   | 2,89   |
| Total - Esporão |           | 18 991,00                        | 2 655,40                          | 4 248,64 | 100,00 |

No seu conjunto entre 2011 e 2017, o esporão EV2 da Cova do Vapor apresentou uma variação volumétrica de aproximadamente 2 655 m<sup>3</sup> o que corresponde a cerca de 4 249 toneladas. A cabeça do esporão, numa extensão de 39,40 metros, apresentou as maiores alterações estruturais com aproximadamente 53% do valor total, enquanto o corpo, com uma extensão de 409,87 m, responsável por 44% e a sua raiz apenas 3% do valor global (Figura 6.44).

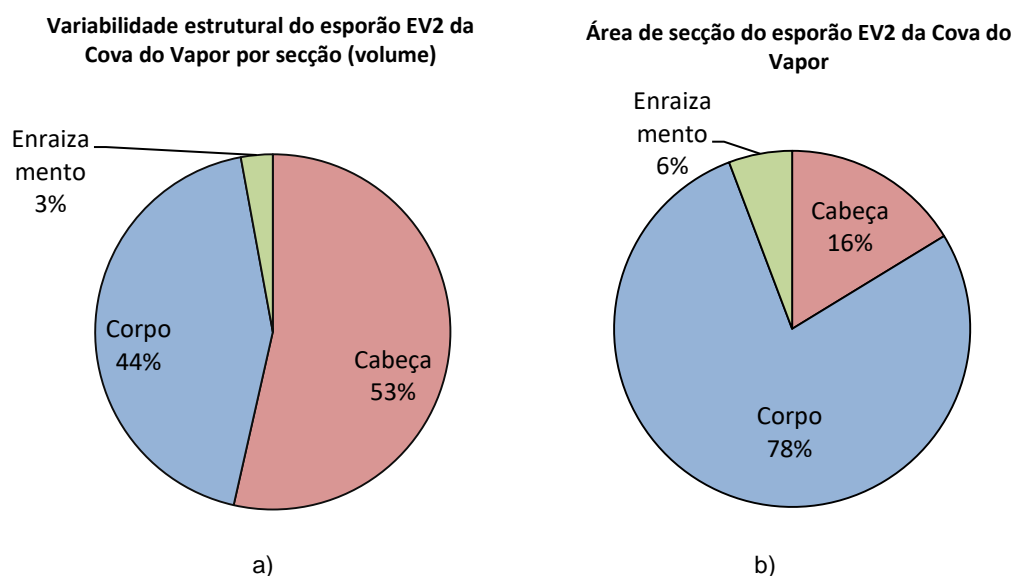


Figura 6.43 – a) Variação Volumétrica do esporão EV2 por secção entre 2011 e 2017; b) Gráfico da direita: Percentagem da área por secção do esporão.

Da análise dos gráficos anteriores (Figura 6.43), a cabeça do esporão foi a que apresentou uma maior variação estrutural entre o período de referência (2011 a 2017). O corpo também apresentou uma variação, no entanto, é necessário apresentar em consideração que este apresenta aproximadamente 78% da área de estudo.

A cabeça do esporão apresentou mais de metade da variação registado em todo o esporão, embora representando apenas cerca de 16% da sua área. Assim, por cada metro quadrado do esporão, a cabeça apresenta uma variação de aproximadamente 0,46 m<sup>3</sup>, enquanto o corpo e o enraizamento, 0,08 m<sup>3</sup> e 0,07 m<sup>3</sup> respetivamente.



Assim, o corpo do esporão, apesar de apresentar 44% da variação ocorrida, por metro quadrado do seu troço, este apresentou uma variabilidade pouco significativa. A variação do esporão por secção e subsecção (norte e sul) pode ser evidenciada no gráfico seguinte (Figura 6.45), no qual a vermelho representa a cabeça, a azul o corpo e a verde o enraizamento do esporão.

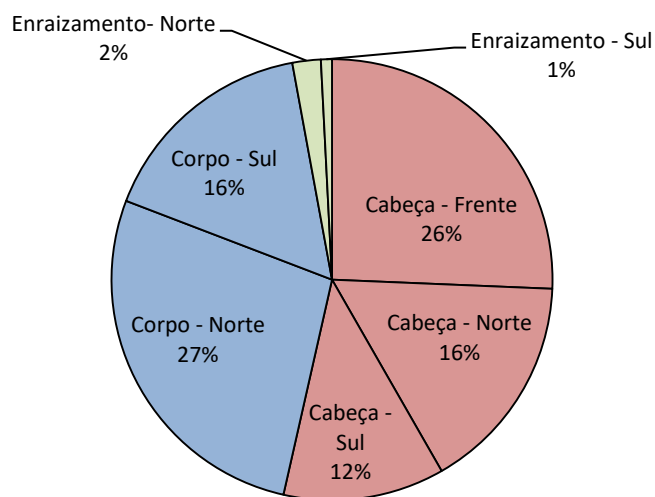


Figura 6.44 – Variabilidade estrutural do esporão EV2 da Cova do Vapor por subsecção. A vermelho representa a cabeça, a azul o prolongamento e a verde o enraizamento do esporão.

Também a diferença de exposição da obra entre o seu lado norte e sul do esporão é revelador das diferentes exposições a que está sujeita a obra em termos de ação das águas (Figura 6.45).

Como já referido o esporão EV2 da Cova do Vapor em 2004 foi objeto de obras de reparação e que envolveu um reforço com 119 755 toneladas de enrocamentos. Com base nestes dados podemos concluir que entre 2011 e 2017 este perdeu cerca de 4 429 toneladas, o que representa 3,5% do peso intervencionado em 2004 e, dentro deste, mais de metade ocorreu na cabeça do esporão, 30% na sua face norte e 18% na sua face sul, sendo estes dados reveladores das seções da obra que requerem maior atenção e esforço de reparação.

### Cálculo de volumes de objetos através do *Pix4D*

O *software Pix4D* apresenta uma funcionalidade que permite calcular volumes de objetos através da nuvem de pontos e, embora ainda esteja numa fase inicial e de experimentação e com um campo de aplicação muito limitado, é um aspeto que importa acompanhar face à inequívoca utilidade para as análises em questão.

A título de exemplo, foram obtidos quatro resultados volumétricos processados com esta funcionalidade do *software* para uma duna, num apoio de praia e em dois blocos do esporão objeto de estudo e os resultados são apresentados na Figura 6.46.

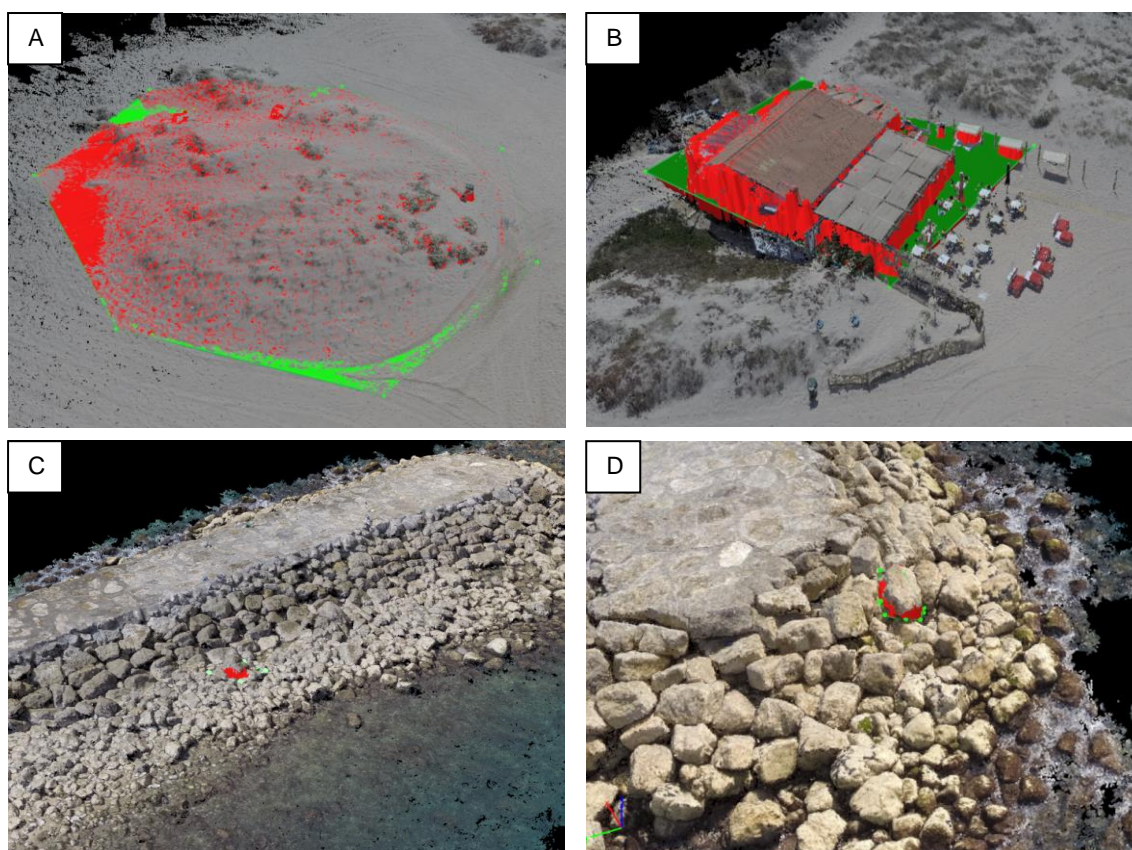


Figura 6.45 – Quantificação volumétrica de quatro objetos diferentes utilizando a nova funcionalidade do *software Pix4D*

Na Tabela 20 são apresentados os resultados obtidos para os diferentes volumes através da ferramenta volumétrica do *Pix4D*.

Tabela 20 – Características quantitativas de cada objeto processado no MDT do esporão EV2 da Cova do Vapor

| Objeto | Área da secção (m <sup>2</sup> ) | Volume cortado (m <sup>3</sup> ) | Volume não preenchido (m <sup>3</sup> ) | Volume total (m <sup>3</sup> ) |
|--------|----------------------------------|----------------------------------|---|--------------------------------|
| A      | 818,26                           | 716,11±17,69                     | -1,03 ± 0,87                            | 715,08 ± 18,56                 |
| B      | 769,68                           | 665,46 ± 8,73                    | -55,12 ± 3,48                           | 610,33 ± 2,20                  |
| C      | 17,37                            | 4,62±0,20                        | -0,12 ± 0,06                            | 4,55± 0,25                     |
| D      | 13,04                            | 5,45±0,13                        | -0,10± 0,04                             | 5,35 ±0,17                     |
|        |                                  |                                  |   |                                |



| Objeto | Volume obtido pelo Pix4D (m³) | Volume obtido manualmente | Diferença |
|--------|-------------------------------|---------------------------|-----------|
| C      | 4,55±0,25                     | 4,51                      | 0,04±0,25 |
| D      | 5,35±0,17                     | 5,26                      | 0,11±0,17 |

Comparando com os resultados diretos de levantamentos no terreno para os objetos C e D (Figura 6.47) constatamos que os dados obtidos por esta nova funcionalidade de este programa tem inequívocas potencialidades para os objetivos em questão

Verifica-se assim que, para áreas muito restritas, este método apresenta interessantes vantagens para a obtenção expedita de informação tridimensional a partir de nuvens de pontos com a vantagem de prescindir da análise que os outros métodos requerem, nomeadamente para os perfis das secções e a análise das diferentes alturas entre pixéis.

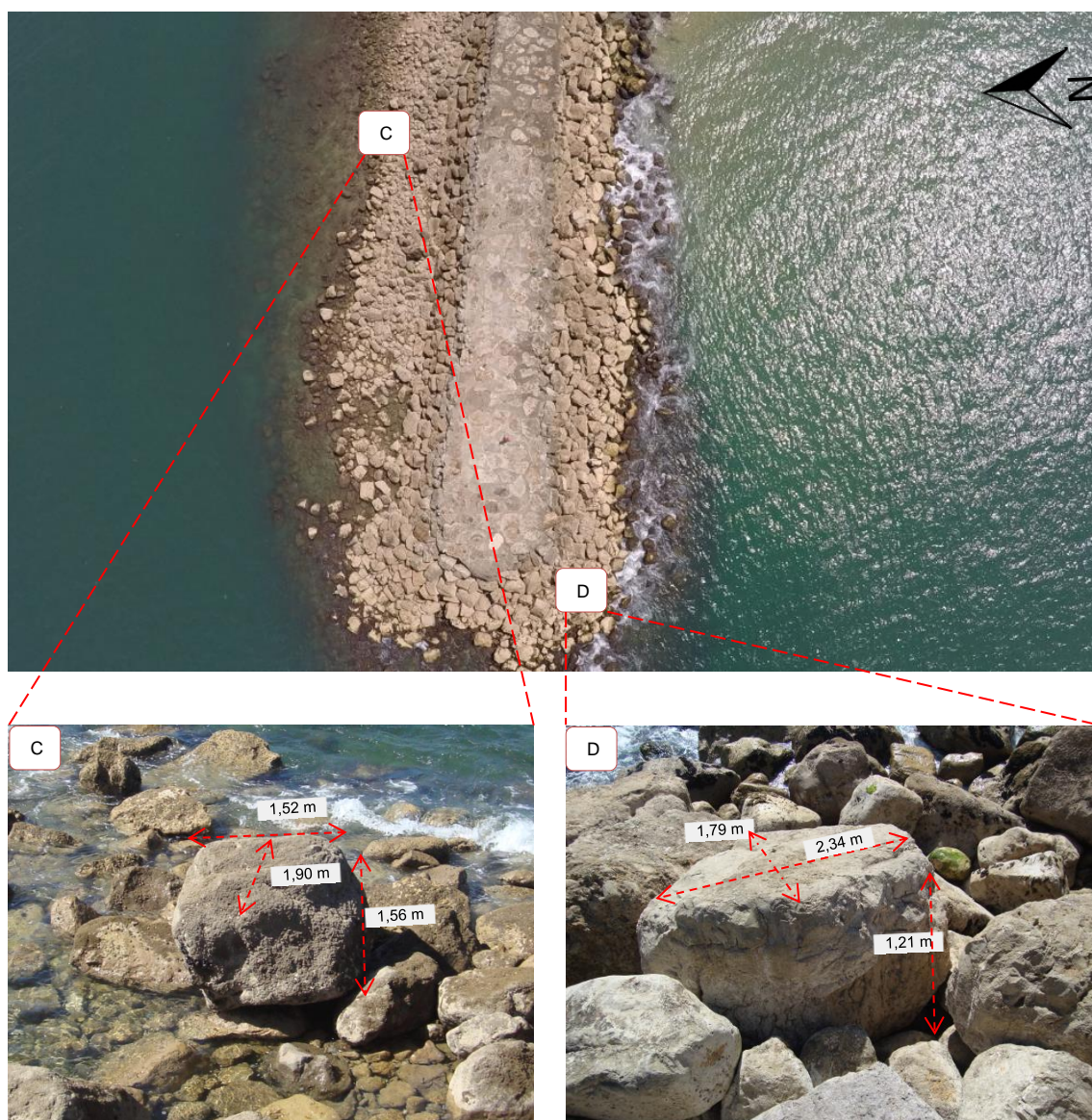


Figura 6.46 – Medições manuais (com recurso a fita métrica) dos blocos C e D para posterior cálculo manual do seu volume.

Com base nesta rápida análise e apesar dos resultados serem promissores, uma das limitações a apontar para já reside no facto do programa não definir bem as fronteiras entre a

superfície dos blocos o que cria dificuldades na correta aferição da posição das superfícies dos blocos.

## 6.2. Esporão EV1 da Cova do Vapor

Para o esporão EV1 da Cova do Vapor realizou-se uma análise quantitativa da sua cabeça do através dos métodos de cálculo dos perfis transversais e da diferença da altura dos valores dos píxeis. Esta secção do esporão apresenta uma significativa variação dos seus enrocamentos, como se pode observar entre as ortofotografias de 2008 e 2017 (Figura 6.48).

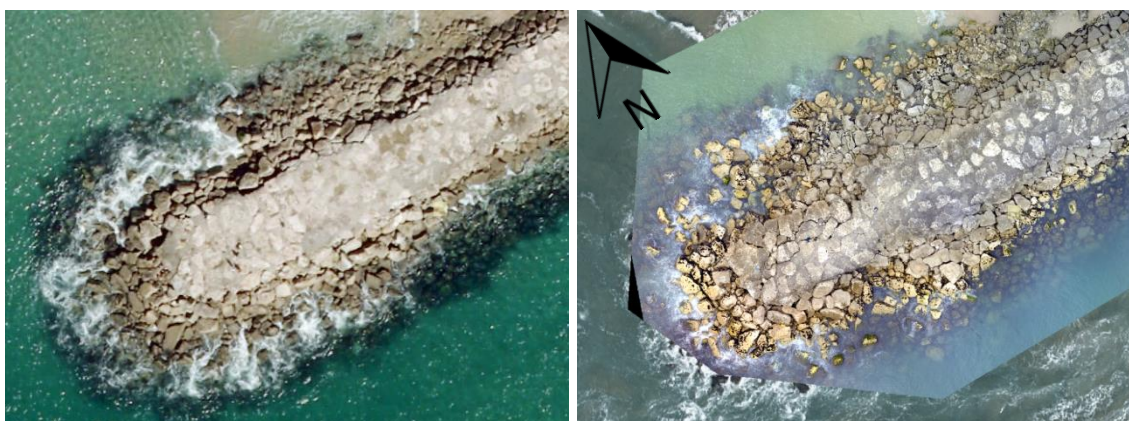


Figura 6.47 – Ortofotos do Esporão EV1 da Cova do Vapor, na qual a imagem da esquerda é a ortofotografia de 2008 e a imagem da direita é a ortofotografia de 2017. Ambas as imagens estão a uma escala de 1:300.

Numa primeira análise comparativa entre as duas ortofotografias, observa-se, como referido anteriormente, uma elevada variação na cabeça do esporão, havendo uma perda significativa de enrocamentos tanto na sua frente como a norte e a sul da sua cabeça.

### 6.2.1. Análise quantitativa

Para esta análise desta secção do esporão, foram realizados quatro perfis transversais e a diferença da altura dos píxeis entre o LiDAR 2011 e o MDT de 2017 obtido pelas missões realizadas pelo *drone*, de forma a aferir grandezas mensuráveis relativamente ao comportamento estrutural desta secção.

#### Análise de perfis de secções transversais

Na figura seguinte (Figura 6.49) observam-se os quatro perfis transversais utilizados para este tipo de análise da cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor:



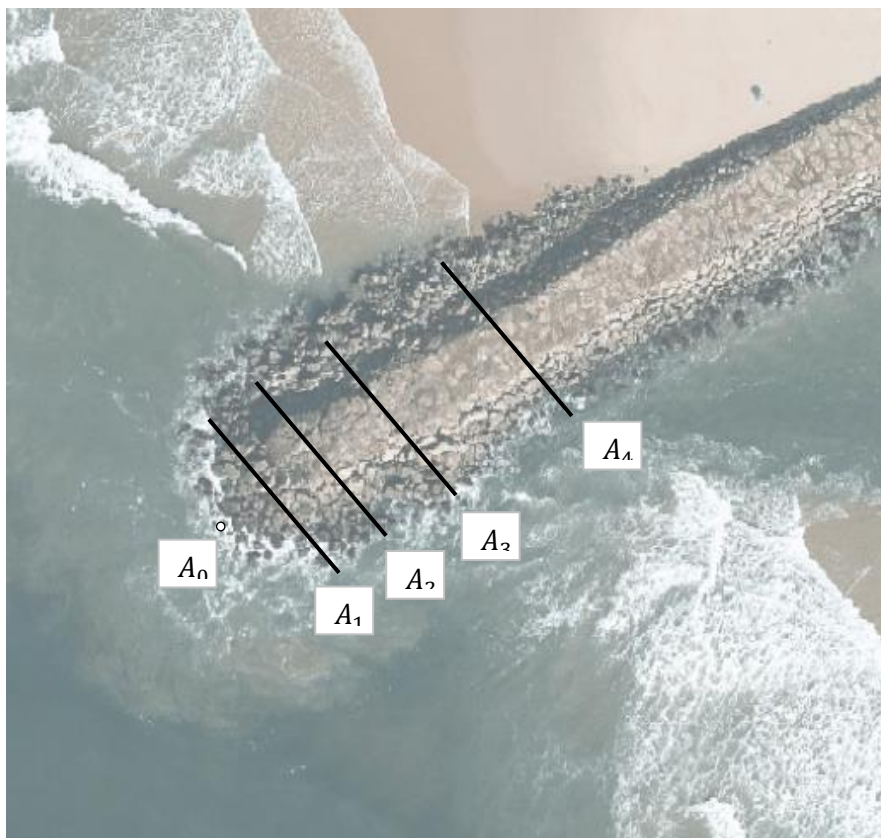


Figura 6.48 – Perfis transversais utilizados para a análise quantitativa da cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor. Escala 1:500.

Como se pode entender da análise da Figura 6.49, os quatro perfis transversais utilizados para este tipo de análise reúnem a totalidade da cabeça do esporão, nomeadamente os rombos ocorridos tanto norte, a sul e na sua frente. Na seguinte tabela (Tabela 21) observam-se as características dos perfis transversais utilizados neste tipo de análise.

Tabela 21 – Características dos perfis utilizados na cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor

| Perfil | Comprimento (m) | Número de píxeis utilizados pelo LiDAR 2011 | Número de píxeis utilizados pelo MDT de 2017 |
|--------|-----------------|---|--|
| 1      | 21,06           | 13  | 1 247  |
| 2      | 23,45           | 14  | 1 412  |
| 3      | 23,74           | 14  | 1 457  |
| 4      | 24,91           | 14  | 1 493  |

Na Figura 6.50 apresenta-se os perfis transversais da cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor, no qual a amarelo estão representadas as perdas estruturais entre o período de referência de 2011 (linha vermelha) e o MDT obtido em 2017 (linha azul) e a verde os deslizamentos dos enrocamentos. A origem dos perfis encontram-se na face norte do esporão

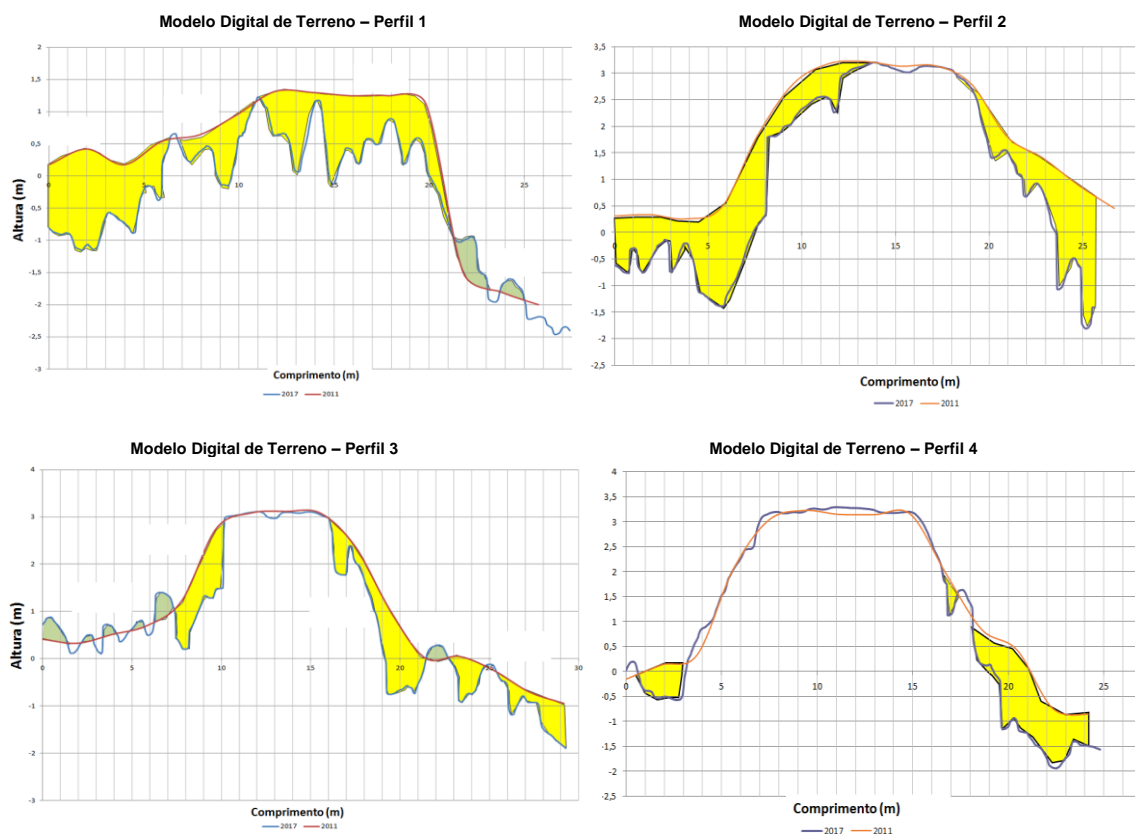


Figura 6.49 - Perfis das quatro secções utilizadas para quantificar a variação na cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor, no qual a amarelo corresponde a perdas e a verde os deslizamentos/escorregamentos de enrocamentos.

Da análise dos quatro perfis transversais obtidos para a cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor, evidencia-se a tendência dominante do perfil de 2017 estar quase sempre a um nível inferior ao de 2011 e que é revelador de degradação da cabeça do esporão entre o período de referência. Na seguinte tabela (Tabela 22), encontram-se representadas as alterações quantificadas nos perfis transversais ilustrados anteriormente.

Tabela 22 – Alterações quantificadas nos perfis transversais realizados para a cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor

| Perfil | Variação a Norte do esporão (m <sup>2</sup> ) | Variação a Sul do Esporão (m <sup>2</sup> ) | Enrocamentos Perdidos (m <sup>2</sup> ) | Enrocamentos Deslizados (m <sup>2</sup> ) | Total (m <sup>2</sup> ) |
|--------|---|---|---|---|-------------------------|
| 1      | 13,00   | 9,00  | 20,00                                   | 2,00                                      | 22                      |
| 2      | 11,00   | 9,00  | 19,00                                   | 0,00                                      | 20                      |
| 3      | 2,50  | 8,50  | 9,50                                    | 1,50                                      | 11                      |
| 4      | 1,50  | 7,50  | 7,50                                    | 0,00                                      | 9                       |
| Total  | 15,00   | 25,00                                       | 56,00                                   | 3,50                                      | 62                      |

Da análise da tabela anterior, entende-se que o perfil 1 (representando a frente do esporão), apresenta uma maior variação entre o MDT de 2011 e o MDT de 2017. Da mesma análise, observa-se que quanto mais nos aproximamos do frente da cabeça, maior é a variação presenciada. De referir que houve uma maior variação dos enrocamentos a sul da cabeça do esporão, dos quais uma significativa parte ocorre por perda dos enrocamentos. Na seguinte figura (Figura 6.51) encontra-se representado os vários perfis realizados para a cabeça do



esporão EV1, na qual o ponto  $A_0$  representa o ponto o qual o esporão emerge teoricamente e o  $A_4$  onde termina esta secção.

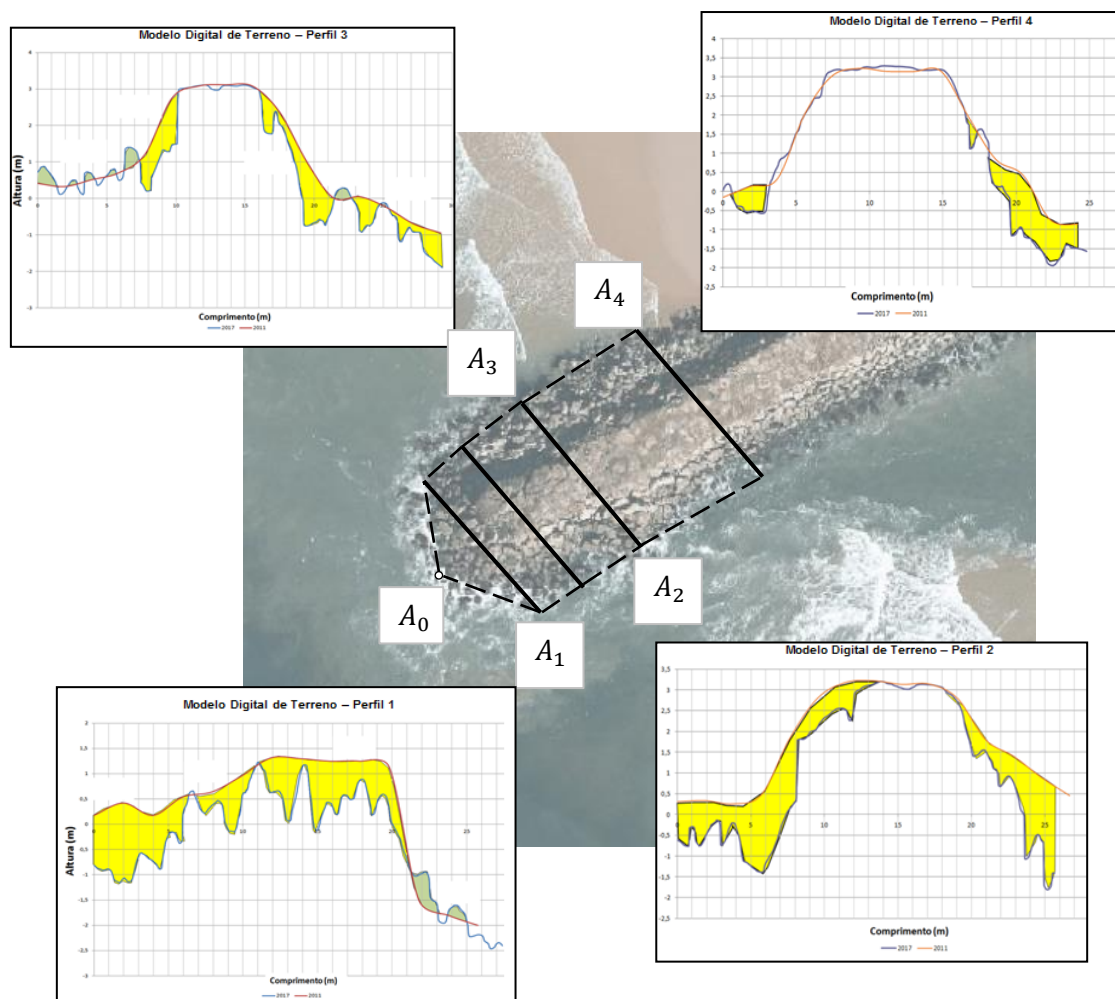


Figura 6.50— Representação dos perfis realizados por cada secção do esporão EV2 da Cova do Vapor, com as respetivas perdas e deslizamentos dos enrocamentos

Como teoricamente previsto, a secção referente à frente do esporão (perfil 1) foi a que apresentou uma maior variação no comportamento dos seus blocos, correspondendo a 35 % da variação dos perfis utilizados neste tipo de análise. Na Figura 6.52, observa-se as variações quantificadas por perfil realizado na cabeça.

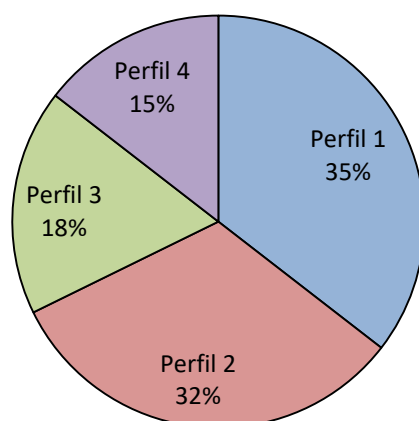


Figura 6.51 - Variação dos enrocamentos nos perfis realizados entre 2011 e 2017 para a cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor.

Utilizando a mesma metodologia que a realizada no esporão EV2 da Cova do Vapor, procedeu-se ao cálculo volumétrico de quatro troços que dividem a cabeça do esporão EV1. Na seguinte figura (Figura 6.53) estão representadas os quatro troços ( $V_n$ ) utilizadas para o cálculo da alteração volumétrica ocorrida nesta secção.



Figura 6.6.52 – Representação dos troços utilizados para o cálculo volumétrico das variações da cabeça do esporão EV1

Os resultados para cada troço encontram-se representados na Tabela 23, a qual representa a variação do esporão por face, por tipo e a alteração volumétrica desde a origem (ponto onde emerge a cabeça) e o fim da cabeça do esporão.

Tabela 23 - Cálculo da variação dos enrocamentos por troço na cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor

| Secção<br>volumétrica | Variação<br>média<br>entre<br>secções<br>(m²) | Distância<br>entre<br>secções<br>(m) | Distância<br>da origem<br>(m) | Variação<br>a norte<br>(m²) | Variação<br>a norte<br>desde a<br>origem<br>(m³) | Variação<br>a sul<br>(m³) | Variação a<br>sul desde<br>a origem<br>(m³) | Variação por<br>perda de<br>enrocamentos<br>desde a origem<br>(m³) | Variação por<br>deslizamento<br>de<br>enrocamentos<br>desde a origem<br>(m³) | Variabilidade<br>total por<br>secção<br>(m³) | Variabilidade<br>desde a<br>origem<br>(m³) | Peso desde<br>a origem<br>(toneladas) |
|-----------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------|---|--|--|--|--|---------------------------------------|
| V1                    | 11,50   | 9,71                                 | 9,71                          | 126,23                      | 126,23   | 87,39                     | 87,39                                       | 192,26   | 21,36  | 213,62                                       | 213,62                                     | 341,79                                |
| V2                    | 22,00   | 10,82                                | 20,53                         | 246,36                      | 372,59   | 184,77                    | 272,16                                      | 623,39   | 21,36  | 431,13                                       | 644,75                                     | 1031,60                               |
| V3                    | 17,25   | 12,25                                | 32,78                         | 221,27                      | 593,86   | 286,83                    | 558,99                                      | 1046,79  | 106,05   | 508,09                                       | 1152,84                                    | 1844,54                               |
| V4                    | 11,25   | 21,79                                | 54,57                         | 109,14                      | 703,00   | 436,56                    | 995,55                                      | 1592,49  | 106,05   | 545,70                                       | 1698,54                                    | 2717,66                               |

Face aos cálculos realizados para a cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor, obteve-se uma variação total de aproximadamente 1 698,54 m<sup>3</sup>, o qual equivale a cerca de 2 717,66 toneladas. A variação dos enrocamentos na cabeça dá-se pela sua perda, correspondendo 1 592,49 m<sup>3</sup>, enquanto os deslizamentos/escorregamentos apenas representam 106,05 m<sup>3</sup>. A face a sul da cabeça do esporão apresentou uma maior variação volumétrica nos seus enrocamentos, uma vez que estes se encontram mais expostos à agitação marítima incidente que a face a norte. A face norte apresenta uma incidência menor uma vez que esta encontra-se menos exposta devido à baía de sedimentos formada entre o esporão EV1 e EV2 da Cova do Vapor. Para o período de referência (entre 2011 e 2017) a variação volumétrica a sul foi de 995,55 m<sup>3</sup>, enquanto a norte 703,00 m<sup>3</sup>.

Na seguinte figura encontram-se representados a variação da cabeça do esporão EV2 por face e pelo tipo de variação ocorrida, entre 2011 e 2017.

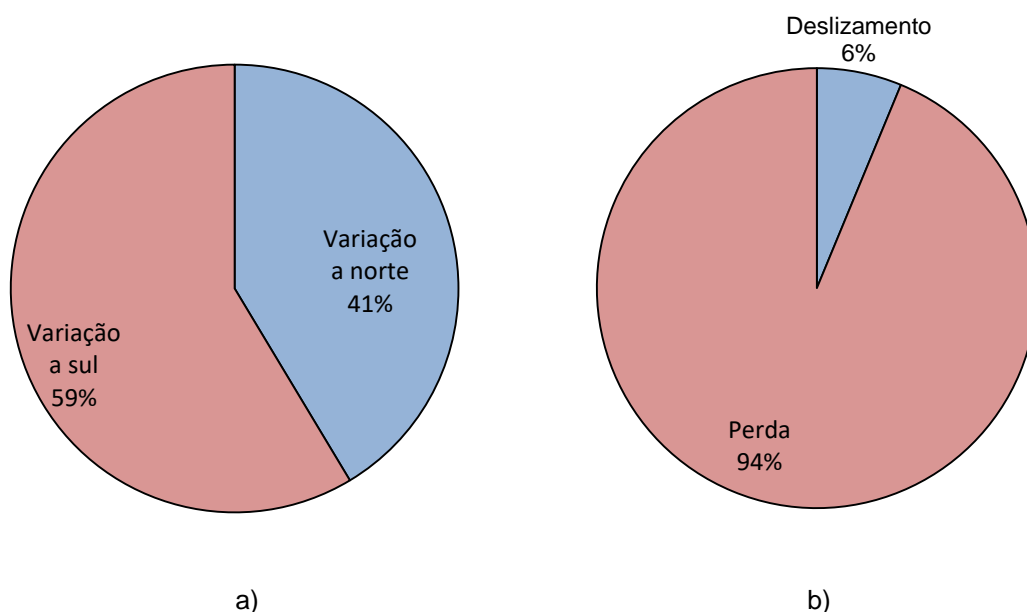


Figura 6.53 - a) Variação dos enrocamentos por face (norte e sul); b) Variação dos enrocamentos por tipo de alteração estrutural

Da análise dos gráficos na figura anterior, observa-se que para o caso da cabeça do esporão EV2, a variação a sul desta corresponde a 59%, enquanto os restantes 41% correspondem à variação dos enrocamentos ocorrida a norte. Relativamente ao tipo de variação ocorrida, 94% ocorre por perdas/assentamentos e 6% por deslizamentos/escorregamentos dos enrocamentos. Entre o espaço temporal dos Modelos Digitais de Terreno (2011 a 2017) houve a ocorrência de eventos extremos, como tempestades, podem, possivelmente, explicar a elevada variabilidade estrutural evidenciada na cabeça deste.

### Diferença entre os valores de píxeis

Face às diferentes agitações marítimas presenciadas na cabeça do esporão EV1, esta foi dividida em três subsecções diferentes, nomeadamente a frente, a barlar e a sotamar desta, como se pode observar na Figura 6.54. De salientar que a azul representa os deslizamentos dos enrocamentos, enquanto a vermelho perdas e/ou assentamentos e a amarelo sem alteração destes.

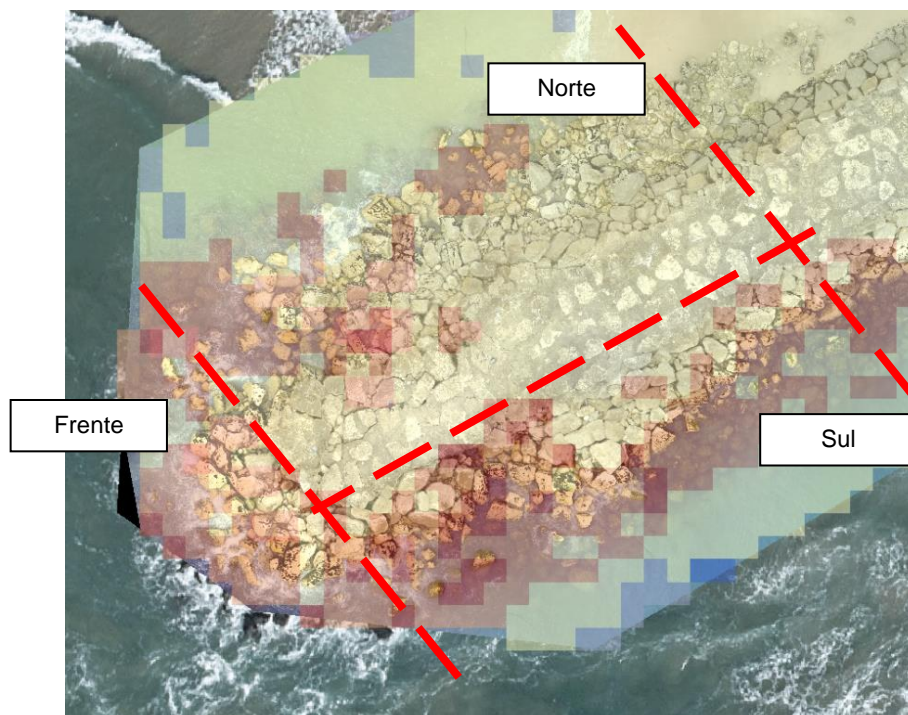


Figura 6.54 -Deslocamentos e perdas/assentamentos dos blocos na cabeça do Esporão EV1 da Cova do Vapor. A azul representa os deslizamentos, a vermelho perdas e/ou assentamentos e a amarelo sem alteração Imagem a uma escala de 1:400.

Através da análise da figura anterior (Figura 6.54), observou-se a significativa variabilidade estrutural dos enrocamentos na cabeça do esporão. As subsecções que apresentaram uma maior variabilidade calculada foi a frente e a sul da cabeça deste esporão. Como de esperar, face à agitação marítima incidente, estas subsecções são as que apresentam uma maior variação no seu comportamento.

Tabela 24 - Variações estruturais do cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor face a diferentes subsecções

| Subsecção | Área (m <sup>2</sup> ) | Volume alterado (m <sup>3</sup> ) | Peso (t) | (%) |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|----------|-----|
| Frente    | 541,58                 | 649,73                            | 1 039,57 | 45  |
| Norte     | 569,09                 | 126,64                            | 202,624  | 9   |
| Sul       | 529,33                 | 675,84                            | 1 081,34 | 47  |
| Total     | 1 640,00               | 1 452,21                          | 2 323,54 | 100 |

Analisando os valores na tabela anterior (Tabela 24), é percebido os diferentes comportamentos do esporão face a diferentes agitações marítimas. Para o intervalo de referência, a cabeça do esporão apresentou uma variação de aproximadamente 1452,21 m<sup>3</sup>,

dos quais 649,73 m<sup>3</sup> ocorreram na sua frente, enquanto 675,84 m<sup>3</sup> a sul. Na seguinte figura (Figura 6.56), encontra-se representado graficamente as subsecções da cabeça do esporão face à sua variabilidade entre 2011 e 2017.

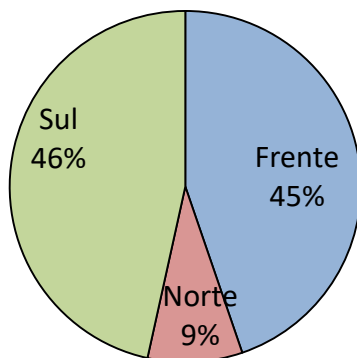


Figura 6.55 - Variabilidade estrutural da cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor por subsecções entre o MDT de 2011 e 2017.

Relativamente à análise da figura anterior (Figura 6.55), 91% das alterações estruturais que ocorreram na cabeça do esporão provêm da sua frente e a sul deste. Devido à baía sedimentar formada entre os esporões EV1 e EV2, a agitação marítima incidente a barlar do EV1 é atenuada drasticamente.

Como referido anteriormente no subcapítulo 6.2.1. Os esporões da Cova do Vapor constituem os casos de estudo utilizado na presente dissertação. Estes esporões foram construídos entre o ano de 1959 a 1963 e foram objeto de obras de reparação no ano de 2004/2007, como referido anteriormente, juntamente com os outros sete esporões da Caparica e obras aderentes (obra aderente / esporão OA3 e Obra Aderente OA2). O Esporão EV2 é o maior e o que se encontra mais a norte deste conjunto de nove esporões (APA, 2004).

Atendendo a que são obras antigas, com mais de meio século, verifica-se serem muito escassos os dados de monitorização sobre elas e que constitui o foco de atenção desta dissertação. Com efeito, não foram encontrados nos processos dados de monitorização, salvo relatórios, sem análises quantitativas, que indicavam que as obras estariam danificadas por simples observação à distância no local antes das intervenções de que foram objeto.

Também não foram encontrados dados na APA sobre estas obras antes da transferência de competências que se registou entre 1992 (referir o diploma da transferência) entre a ex-Direção Geral de Portos e o Ex – INAG) daí esta análise prévia incidir, sobretudo, com base na evolução que é possível extrair das imagens históricas de satélites provenientes do *DigitalGlobe* e *Google Earth*.

Esporão EV1 da Cova do Vapor, em 2004 foi fornecido a este esporão um total de aproximadamente 67 979,6 toneladas de enrocamentos. Assumindo que 2011 apresenta o mesmo peso que 2004 calculou-se uma variabilidade estrutural para o período de referência de aproximadamente 3,41% do peso total do esporão.



### **6.3. Discussão dos resultados face às variações entre os esporões da Cova do Vapor**

Como esperado, uma vez que é compatível com as observações diretas, ambos os esporões apresentaram alterações nos seus enrocamentos entre os momentos analisados. Presume-se que a agitação marítima seja o fator que mais influencia a variação estrutural do esporão, sendo que será expectável que haja proporcionalidade dos estragos com a exposição à agitação marítima incidente. No presente caso e sobretudo no EV2, também é de admitir que o escoamento de vazão e de enchente do Tejo possam ter efeitos no comportamento estrutural do esporão

Precisamente uma das utilidades destes dados, por serem de grande precisão e fácil a obtenção de novos levantamentos é, em função das ocorrências que se vierem a verificar, permitir efetuar correlações estreitas entre o tipo de ocorrências e o tipo de alterações provocadas para as obras e que é informação de relevante interesse para a gestão e para apoiar estratégias de adaptação costeira.

Na análise visual realizada para o Esporão EV2 da Cova do Vapor, constata-se que as maiores alterações no enrocamento da obra acontecem sobretudo na cabeça do esporão, embora com algum significado também na face norte da obra, o que coincide com o teoricamente previsto por serem as secções mais expostas à agitação marítima.

Os dados confirmam também que quanto maior o intervalo de tempo entre ortofotografias, maior a probabilidade de haver alterações estruturais na obra e sobretudo se nesse período tiverem sido registadas tempestades severas, como é o caso das tempestades que assolaram o país no inverno de 2013/14.

Nas células D4 a G4 da Figura 6.13, verifica-se que blocos que se encontravam visíveis em 2008 estão soterrados no levantamento de 2017 devido ao enchimento da praia entretanto ocorrido.

Analisando a diferença entre as ortofotografias de 2014-2015 e 2017, com um intervalo de tempo de aproximadamente três anos, as variações comportamentais dos blocos foram reduzidas, apresentando poucas perdas/deslizamentos na cabeça do esporão. Verificou-se que as alterações no corpo e enraizamento do esporão são mínimas e que coincide com o expectável uma vez que neste período não houve invernos rigorosos nem tempestades assinaláveis. A maior alteração a assinalar é a registada nas células C4 e G4 com o soterramento de alguns enrocamentos devido ao enchimento da praia (Figura 6.18).

Da análise quantitativa do esporão EV2 para o período de 2011 a 2017 a informação obtida através dos perfis das secções transversais fornecem dados muito objetivos quanto ao comportamento da obra com variações de 2 961,21 m<sup>3</sup> ou 4 737,94 toneladas, desde o ponto onde esta emerge teoricamente até ao seu enraizamento. Da análise dos perfis, as maiores alterações verificam-se na cabeça do esporão e na sua face norte, sendo que no enraizamento do esporão não se detetaram alterações significativas.

Enquanto o método baseado em perfis a precisão dos dados depende do número de perfis a utilizar e da qualidade do levantamento, já o baseado na altura dos píxeis entre MDT, pode ser aplicado automaticamente à totalidade do esporão, no qual a qualidade dos dados a obter depende exclusivamente da qualidade do levantamento, ou seja, da dimensão do píxel e da precisão da informação da altimetria que se lhe encontra associada.

Aplicando-se o método da variação da altura dos píxeis ao EV2, as variações volumétricas obtidas foram de 2 655,40 m<sup>3</sup> ou 4 248,64 toneladas, sendo que a distribuição é semelhante aos resultados obtidos através do método dos perfis, com 54% das alterações a incidir na cabeça do esporão, 44% ao seu corpo e cerca de 2% na raiz. Similarmente à análise com recurso aos perfis, este tipo de análise apresentou uma maior variação dos enrocamentos na face norte do esporão, juntamente com a cabeça deste

Sabendo-se que a ferramenta de cálculo volumétrico expedito do *software* de processamento *Pix4D*, ainda se encontra numa fase inicial de desenvolvimento apesar de poder ser considerada uma inovadora forma de cálculo de volumes de objetos, ainda se encontra em fase inicial

Da análise quantitativa realizada à cabeça do esporão EV1 da Cova do Vapor, verifica-se uma significativa perda estrutural dos seus blocos, evidenciada na frente, a norte e a sul desta. Estas ruturas foram facilmente identificadas, utilizando os perfis transversais e a variação da altura de píxeis, face aos diferentes espaços temporais (entre 2011 e 2017).

Para a metodologia com recurso a perfis das secções transversais analisadas, calculou-se uma variação estrutural de aproximadamente 1698,54 m<sup>3</sup> ou 2 717,66 toneladas, dos quais as maiores variações ocorreram na frente e a sul da cabeça do esporão, como teoricamente esperado, sendo estas as secções mais expostas à ação das ondas.

Na análise da variação dos valores da altura dos píxeis entre os dois MDT utilizados, foi calculando uma variação dos enrocamentos de aproximadamente 1 452,21 m<sup>3</sup>, dos quais 47% ocorrem a sul e 45% na frente da cabeça do esporão EV1. Como previsto, a sul da cabeça existe uma maior variabilidade que a norte, visto esta encontrar-se exposta a uma maior agitação marítima, uma vez que a norte verificam-se fenómenos de acreção de sedimentos devido à baía sedimentar formada entre os esporões EV1 e EV2, atenuando o efeito das ondas.

Na seguinte tabela encontram-se sintetizados os resultados obtidos relativamente ao tipo de análises quantitativas realizadas para cada esporão e o respetivo erro entre cada valor obtido.

Tabela 25 – Esquematização dos resultados obtidos para os esporões através das metodologias quantitativas utilizadas

|                      | Perfis   | Variação da altura dos píxeis | Diferença |
|----------------------|----------|-------------------------------|-----------|
| Esporão EV1 – Cabeça | 1698,54  | 1 452,21                      | 15%       |
| Esporão EV2          | 2 961,21 | 2655,40                       | 11%       |

Da análise da tabela anterior, entende-se que ambos os métodos apresentaram diferenças nos resultados obtidos para cada esporão. Relativamente à cabeça do esporão EV1 houve uma diferença de resultados na ordem dos 15%, enquanto para a totalidade do esporão EV2, 11%.

Comparando a cabeça dos dois esporões, constata-se que ambas apresentam uma variabilidade estrutural significativa, 710,86 m<sup>3</sup> para o EV2 e 580,89 m<sup>3</sup> para o EV1. Como previsto, a cabeça do esporão EV2 apresenta uma maior variação no comportamento dos seus enrocamentos comparativamente ao EV1, visto que a área de secção da cabeça do EV2 ser bastante superior à do EV1 (quase duas vezes superior). Calculando a variação estrutural por m<sup>2</sup> da área de secção de cada cabeça, o EV2 apresentou uma variação de 0,23 m<sup>3</sup> por cada m<sup>2</sup>, enquanto o EV1 apresenta 0,35 m<sup>3</sup>. Esta proporcionalidade é relevante, na medida em que o EV2, apesar de apresentar uma alteração maior nos seus enrocamentos, os danos estruturais em EV1 são superiores por área de secção. Este pressuposto é evidenciado nas ortofotografias de ambos os esporões, no qual os danos do EV1 podem constatar-se facilmente a sul e na frente da sua cabeça.

O esporão EV2 e EV1 da Cova do Vapor, entre de 2004 a 2008 receberam um fornecimento de aproximadamente 119 755,4 toneladas de enrocamentos, 67 979,6 toneladas, respetivamente. Assumindo o pressuposto que em 2011 os esporões apresentavam o seu peso total após as reparações de 2008, entre 2011 e 2017, o EV2 apresentou uma variação face ao seu peso total de 3,5% do seu peso total, enquanto o EV1, apenas para a secção da cabeça, uma alteração de 3,4%.

Como é sabido e esclarecido anteriormente, os modelos obtidos apresentam dois tipos de erros associados, nomeadamente o erro relativo e o erro absoluto. O erro relativo, é representado consoante o Ground Sample Distance (GSD) obtido para os modelos, nomeadamente 2,35 cm para o esporão EV1 e 1,72 cm para o EV2.

A nível absoluto, os erros são representados consoante a qualidade e precisão dos pontos de controlo (GCP) utilizados, uma vez que foram obtidos GCP com recurso as Ortofotografias de 2014-2015 (para a latitude e longitude) e os levantamentos LiDAR 2011 (para a altitude), são assumidos dois erros diferentes, nomeadamente o erro absoluto relativamente à latitude e longitude e o erro associado à altitude. Deste modo, uma vez que as ortofotografias de 2014-2015 apresentam uma precisão de 10 cm, assume-se que para a latitude e longitude houve um erro de aproximadamente 10 cm. Para o erro absoluto face à altitude, o LiDAR apresenta uma precisão de 2 metros, por isso foram recolhidos GCP de objetos com uma elevada probabilidade de estes não se moverem entre os anos, nomeadamente os enrocamentos do croamento dos esporões. Desta forma, assume-se um possível erro de aproximadamente de 10 a 200 cm (espaçamento máximo entre píxeis no LiDAR 2011). Como de esperar a qualidade do GCP referente à altitude apresenta uma importância bastante significativa na veracidade e qualidade dos resultados obtidos, sendo esta a principal influência destes.

### **6.3.1. Fatores que influenciam os resultados obtidos**

Existem diversos fatores que interferem neste tipo de análises, podendo-se resumir a dois tipos de fatores, os que tem a ver com os métodos utilizados nos levantamentos dos dados e os que estão associados ao seu processamento.

#### **Georreferenciação de modelos sem utilização de GPS RTK ou PPK**

A georreferenciação, como explicado anteriormente, é um dos passos mais importantes para o processamento de modelos de elevada precisão, tanto a nível relativo como absoluto. A nível relativo, a precisão do modelo é definido pela proporcionalidade do modelo/ortomosaico relativamente ao objeto real, independentemente do rigor relativamente ao espaço territorial envolvente. Já ao nível absoluto, também a precisão do posicionamento do modelo relativamente ao espaço circundante é determinante. O GPS RTK ou PPK são ferramentas essenciais para que os levantamentos de campo sejam de imediato obtidos com precisão relativa e absoluta, uma vez que conseguem auxiliar na diminuição dos erros absolutos, ao fornecerem vários pontos de controlo que serão posteriormente utilizados no pós-processamento do modelo.

#### **Número de GCP no modelo e georreferenciação**

Uma forma obter precisão nos modelos é utilizar, na fase de levantamento, o maior número possível de GCP. Estes ajudam a aumentar a precisão do modelo seja utilizando GPS RTK ou PPK para a definição do seu posicionamento (x,y e z) na fase de levantamento, seja na fase de pós processamento (georreferenciação). No presente caso utilizou-se o levantamento aerofotogramétrico de 2008 e 2014-15 com pixéis de 10 cm e que apresenta um nível de precisão muito satisfatório face aos objetivos a atingir.

Se a área que está a ser mapeada apresentar mudanças de elevação bastante acentuadas, como por exemplo, colinas, minas ou vales, deve ser utilizado pelo menos um GCP em cada uma das diferentes elevações principais, auxiliando o modelo.

De referir ainda que, apesar dos levantamentos a baixa altitude potenciarem os pormenores dos resultados obtidos, também há a possibilidade da desformatação do modelo, nomeadamente aquando da homogeneidade dos levantamentos, como por exemplo levantamentos fotogramétricos que contenham uma grande parcela de água ou só areal.

#### **Interferência da estrutura do drone nos dados**

O drone utilizado tem apoios fixos que ficam registados nas imagens o que pode ser um problema para o processamento a efetuar, sobretudo sabendo-se que o software serve-se de pontos semelhantes em imagens distintas para os referenciar como *matched keypoint* (Figura 6.56a). Para obviar este problema, o *software Pix4D* permite retirar esse ruído da imagem (Figura 6.56b) e geralmente não disponível noutros programas de processamento.

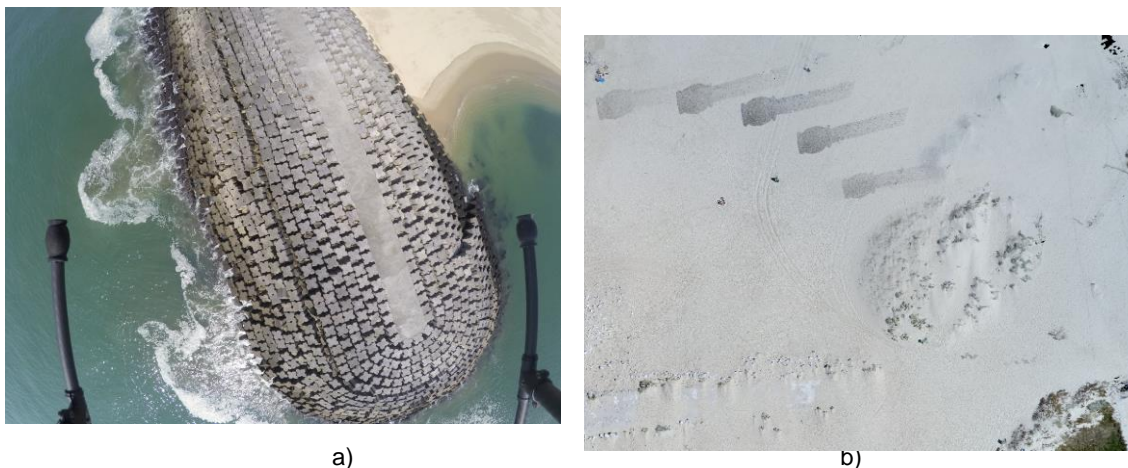


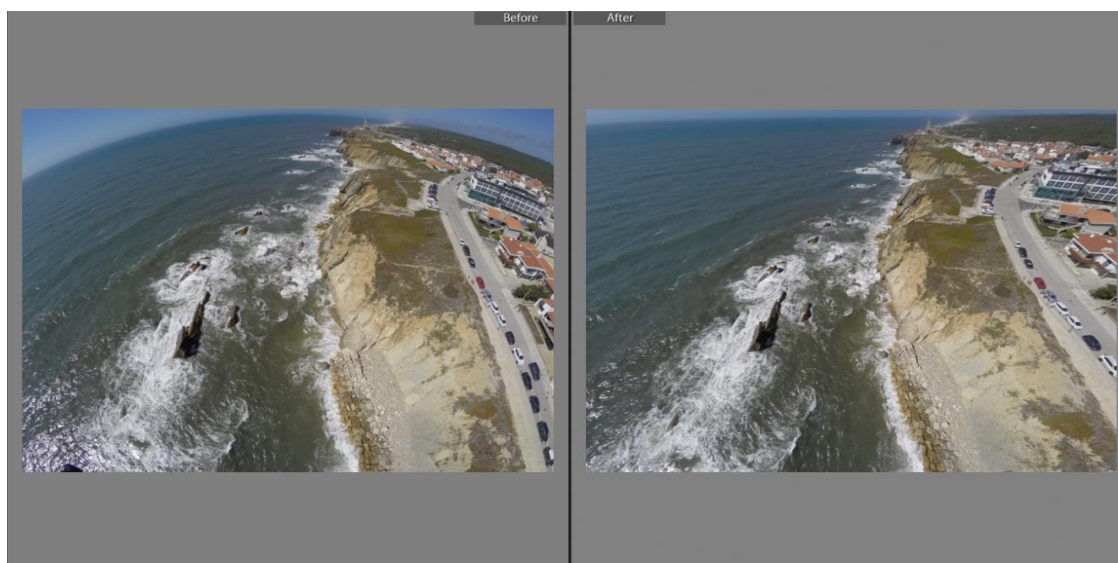
Figura 6.56 – a) Suportes dos *drones* capturados nos levantamentos fotogramétricos verticais (fotografia do quebra-mar destacado na Foz do Douro) (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Junho de 2017); b) Suportes do drone evidenciados no ortomosaico obtido para o esporão EV2 da Cova do Vapor.

### Tipo de câmara

O tipo de sensor a utilizar é outro dos fatores a ter em consideração, uma vez que tem reflexo na qualidade dos modelos a obter. Assim aspetos relacionados com a resolução do LCD, a capacidade de adaptação automática às condições do levantamento (velocidades de obturação, sensibilidade ISO, focagem) são tudo aspetos que interferem na qualidade dos modelos obtidos.

### Distorção da lente

Câmaras fotográficas, como por exemplo, a *GoPro* ou a *FireFly 6S* apresentam uma lente de grande angular (olho de peixe) no qual, dependendo do *software* de processamento utilizado pode haver desformatação nos resultados finais no modelo obtido. De salientar que o *software Pix4D* consegue contornar estas distorções utilizando os metadados retidos no EXIF da imagem e em função dos quais executa, automaticamente, as correções necessárias a serem realizadas. Ter no entanto em atenção que outros *softwares* de processamento podem não realizar esta correção o que obriga a pós-processamento da imagem utilizando *software* específico, seno exemplos o *Adobe Photoshop CS6* ou o *Adobe Lightroom* para corrigir esta distorção. O aspeto negativo é que o pós-processamento destas distorções da imagem tem, em geral, repercussões na das imagens e, conseqüentemente, nos modelos (Figura 6.57).



a)

b)

Figura 6.57 – a) Fotografia obtida com recurso ao VANT da APA em Julho de 2017 na arriba de S.Pedro Moel; b) Utilização do *software Adobe Lightroom* de forma a exemplificar a perda de qualidade de imagens após a correção da distorção das lentes.

### Resolução dos levantamentos fotogramétricos

A resolução dos levantamentos obtidos influenciam os resultados do processamento final, uma vez que quanto maior for a resolução das fotografias maior número de pixéis serão utilizados como *matched keypoints*. Quanto maior o número de *matched keypoints* por modelo, mais pormenorizado este será.

### Número de levantamentos imagens por modelo

Quanto mais imagens forem utilizadas no processamento, maior o número de informações que são inseridas no modelo, nomeadamente secções ou fachadas de diferentes objetos, o que auxilia o processamento, tornando o modelo mais pormenorizado e preciso.

### Ângulo da câmara fotográfica

Dependendo do tipo de modelos que se pretende obter, a variação do ângulo da câmara fotográfica é um fator importante a ter em conta. Na maioria dos casos, o ideal é utilizar a câmara com um ângulo vertical, apontando perpendicularmente para a superfície que se pretende mapear, mas em alguns casos, como por exemplo na modelação de edifícios ou de estruturas ou mesmo arribas, é vantajoso a utilização de fotografias oblíquas (ver capítulo 4.2.1). De notar, que levantamentos que capturem o horizonte e/ou céu enfraquecem a qualidade do modelo obtido.



### Altitude de voo

Quanto maior a altitude dos voos realizados durante a missão, menor a pormenorização do modelo, bem como um maior erro relativo, dependendo do tipo de elevação da área a mapear. Na figura seguinte (Figura 6.58) observa-se a diferença entre um levantamento fotográfico obtido a uma altura de 80 m e outra a 15 m.

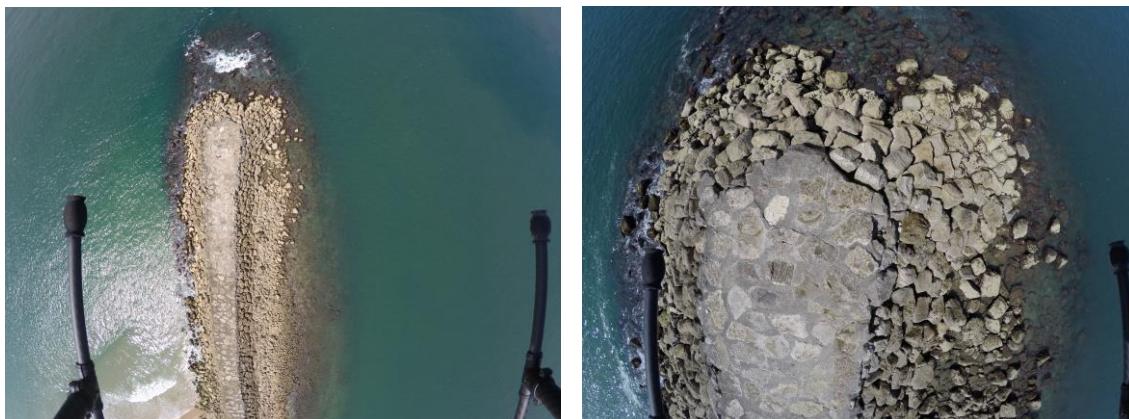


Figura 6.58 – Diferença entre levantamentos fotogramétricos obtidos a altitudes diferentes (imagem da esquerda a 80 metros e a imagem da direita a 15 metros)(Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Julho de 2017).

### Overlap e sidelap

Para a formulação de um modelo preciso, ou seja, pormenorizado e com um erro relativo baixo, é necessário que os levantamentos fotogramétricos apresentem um *overlap* e *sidelap* bastante elevados, superior a 75% e 60%, respetivamente. Quanto maior for a sua percentagem, maior sobreposição entre levantamentos o que por ventura vai aumentar o número de pontos em comum (*matched keypoints*), originando um modelo fidedigno.

### Qualidade das ortofotografias de referência

A qualidade das ortofotografias utilizadas para a análise visual entre os diferentes períodos temporais é um fator importante a ter em conta. Como referido anteriormente no subcapítulo 6.1.1, a Ortofoto de 2008 e de 2014-2015 apresentam píxeis com dimensões de 0,1 metros, enquanto a de 2017 apresenta uma dimensão de 0,017 metros. Da análise efetuada, observa-se que quanto mais baixa for a qualidade das ortofotografias, menor é a qualidade dos dados obtidos.

### Coloração RGB da ortofotografia

As diferentes tonalidades entre levantamentos são fatores que podem interferir na qualidade dos dados processados sendo que sombras muito contrastantes têm influência determinante nos resultados conforme exemplo apresentados no subcapítulo 6.1.1 pelo que o posicionamento do sol à hora do levantamento pode ser determinante para a qualidade do modelo a obter.

### Agitação marítima

O processamento de modelos utiliza pontos iguais em diferentes imagens, assim, aquando de elevada agitação marítima ou diferentes alturas de maré, os pontos que deveriam ser *matched keypoints* serão anulados por estarem ocultos. A presença de ondas pode mesmo “desorientar” o processamento uma vez que são pontos de presença aleatória e não comparáveis entre imagens (Figura 6.59).



Figura 6.59 – Elevada agitação marítima no esporão da Cova Gala, a qual impossibilita a obtenção de pontos comuns entre diferentes fotografias (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Agosto de 2017.)

Na seguinte figura (Figura 6.60) observar-se o efeito que a agitação marítima apresenta na análise visual através da sobreposição 2D entre ortomosaicos.

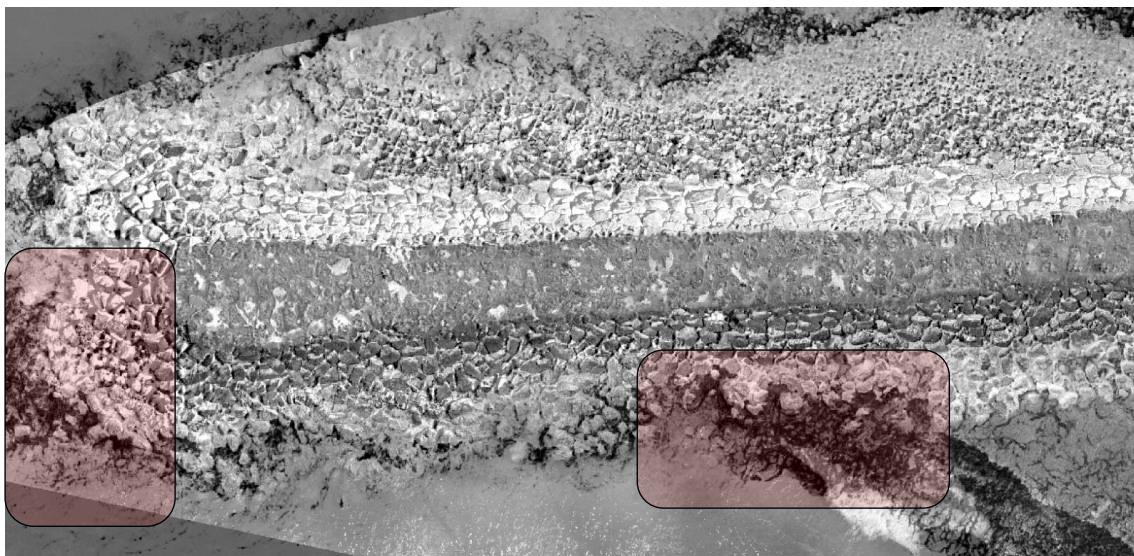


Figura 6.60 – Influência da agitação marítima na sobreposição 2D entre ortofotografias do Esporão EV2 da Cova do Vapor.

### Condições meteorológicas

As condições meteorológicas são outro dos fatores determinantes na obtenção de levantamentos fotogramétricos com qualidade, uma vez que a pormenorização do modelo depende intrinsecamente da qualidade destes. Para o drone utilizado, a precipitação é mesmo fator determinante para a realização da missão, face ao risco de curto-circuito no aparelho e

que pode levar à sua perda, para além da perda de qualidade da imagem o que acontece também em situações de nebulosidade (Figura 6.61).

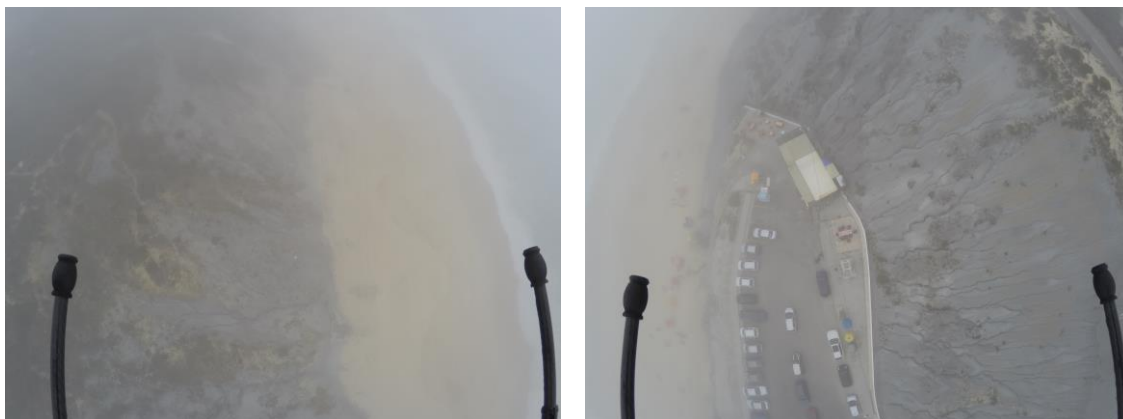


Figura 6.61 – Influência da nebulosidade na qualidade dos levantamentos fotogramétricos. Levantamentos realizados na Arriba da Pedra do Ouro (Fonte: Fotografia obtida com o VANT da APA a Agosto de 2017).

### **Marés**

As marés implicam diferentes altura do nível da água e que influência os resultados obtidos, tanto para uma análise visual como quantitativa, visto que esta vai submergir partes dos enrocamentos. Para tal, os levantamentos fotogramétricos, pelo menos para os esporões, devem ser realizados com as marés mais baixas possíveis para se obter o máximo rendimento dos levantamentos. Na Figura 6.63, capturada por Coelho (2005), evidencia-se o efeito das marés no mesmo local.

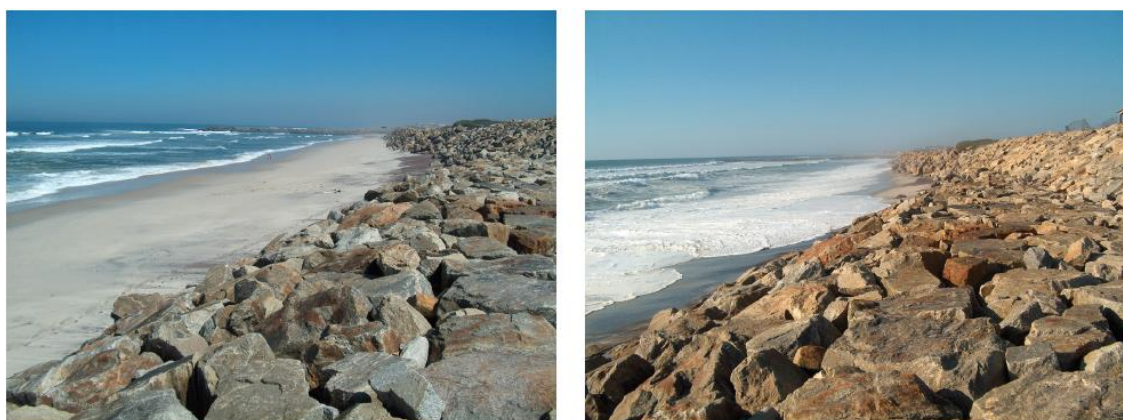


Figura 6.62 – Efeito da maré em Cortegaça, com imersão da praia e de alguns blocos da obra aderente. (Fonte: Coelho, 2005).

### **Pormenorização do LiDAR**

O LiDAR de 2011, embora seja uma referência na monitorização costeira de Portugal, por ser integral da orla costeira continental com dados de topobatimetria, apresenta uma resolução demasiado baixa face ao objetivo pretendido no presente estudo, apresentando apenas um ponto a cada dois metros de comprimento. Num esporão, uma variação de dois metros é um



erro bastante significativo, não representando o perfil real deste, mas uma aproximação com um elevado erro. Este tipo de dados não representa o perfil dos enrocamentos, mas sim apenas as cotas médias do esporão.

Observando a Figura 6.64, evidencia-se que o MDT de 2011 utilizou apenas dois pontos em quatro metros de comprimento, não representando o perfil do esporão de forma pormenorizada.

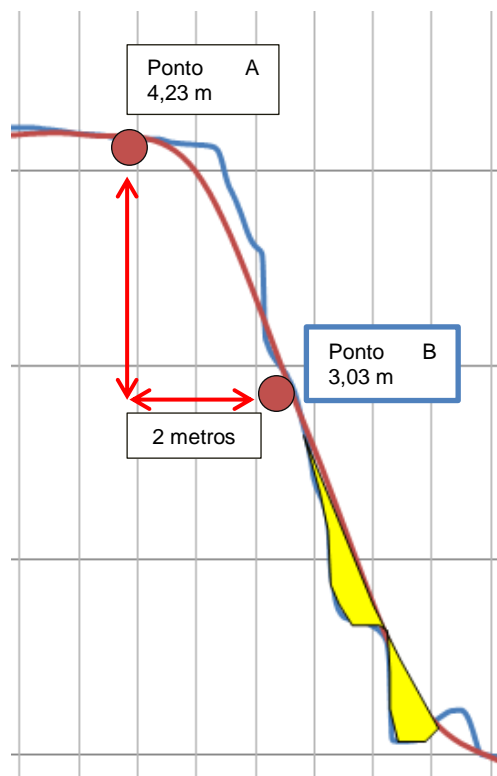


Figura 6.63 - Discrepância entre o MDT obtido pelo LiDAR 2011 e o MDT obtido pelo *drone* em 2017.

Como se pode observar na Figura 10.64, há uma discrepância entre ambos os MDT, decorrente da baixa pormenorização que o LiDAR apresenta face ao modelo obtido pelos levantamentos fotogramétricos com o recurso ao *drone*. Nos perfis das secções em estudo (presente no subcapítulo 10.1.2), para o MDT obtido pelo LiDAR em 2011 foram utilizados em média 17 pontos, enquanto para o MDT obtido pelos levantamentos do *drone* foram utilizados em média 1723 pontos. Assim, para cada ponto do perfil utilizado pelo LiDAR 2011, o perfil do MDT de 2017 utilizou mais 100 pontos. De referir que as células do LiDAR 2011 apresentam a dimensão de 2x2m, enquanto as células 2017 têm 0,017x0,017m.

#### 6.4. Outros resultados obtidos com a metodologia proposta na presente dissertação

A título de exemplo da aplicabilidade da metodologia presente nesta dissertação, vão ser apresentados os modelos tridimensionais obtidos e os consequentes ortomosaicos e modelos digitais de terreno para a arriba da praia da Pedra do Ouro e da obra aderente e arriba da praia da Areia Branca.

#### 6.4.1. Modelo tridimensional obtido para as arribas da praia da Pedra do Ouro e Areia

Na figura seguinte (Figura 6.65 e Figura 6.66) são apresentados diversos pontos de vista do mesmo modelo tridimensional obtido para a arriba da praia da Pedra do Ouro, que se caracteriza por ter uma elevada taxa de recuo e que coloca em crescente risco a frente urbana deste aglomerado costeiro.

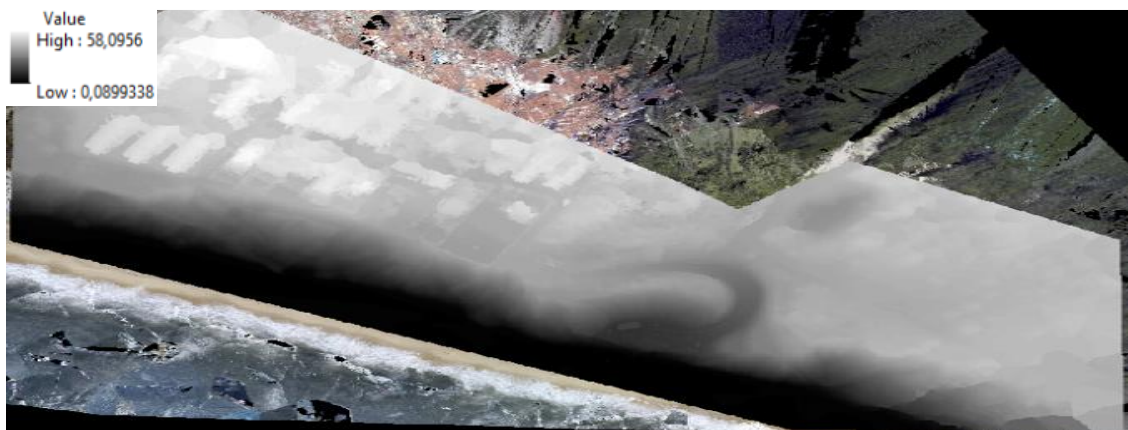


Figura 6.64 – Modelo obtido para a arriba da praia da Pedra do Ouro, através do *software* de processamento *Pix4D*.

Na figura seguinte estão representados o ortomosaico (6.66 a) e o modelo digital de terreno (6.66b) para este troço costeiro.



a)



b)

Figura 6.65 – a) Ortomosaico; b) modelo digital de terreno para a arriba da praia da Pedra do Ouro.

Situação semelhante mas agora aplicado à Praia da Pedra Branca no concelho de Lourinhã, que apresenta uma arriba com igual fragilidade erosão registada na arriba devido ao avanço do mar e que possui na sua base uma obra aderente com o objetivo de minimizar a ação das águas, sendo que nas perspetivas do modelo são bem visíveis blocos da arriba no sopé da arriba e que resultam do seu desmoronamento por ação das águas na sua base (Figura 6.67 e 6.68).

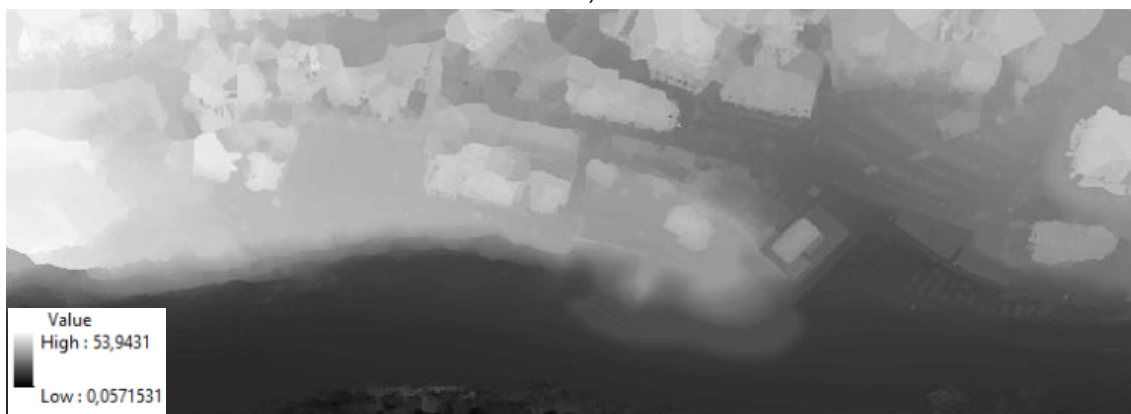


Figura 6.66 - Modelo obtido para a obra aderente e arriba da praia da Areia Branca, através do software de processamento *Pix4D*.





a)



b)

Figura 6.67 – a) Ortomosaico; b) modelo digital de terreno obtidos para a obra aderente e arriba da praia da Areia Branca.

## 7. CONCLUSÕES: AS POTENCIALIDADES DA METODOLOGIA E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são referidas sugestões para se otimizar a ferramenta e metodologia abordada nesta dissertação com vista a se obter maior eficácia na monitorização de sistemas costeiros, sejam naturais ou artificiais, e é avançada uma proposta metodológica para a realização da monitorização periódica dos segmentos costeiros de maior risco a nível continental.

Para a obtenção de modelos digitais de terreno de elevada precisão, com baixo erro relativo e absoluto, de arriba, dunas entre outros propõe-se um exemplo de procedimentos e de produtos atualmente disponíveis no mercado:

- No terreno e antes da realização da missão, deve ser utilizado um GPS móvel, RTK ou PPK, para marcação dos GCP no local do levantamento (preferencialmente mais de 5), de forma a introduzir maior precisão no processamento do modelo. Este procedimento é indispensável para o mapeamento de alta precisão pois a utilização deste equipamento permite uma precisão centimétrica, com um erro de aproximadamente 2 a 10 cm até distâncias de 10 km desde a estação base (Informação segundo técnicos da APA I.P.).
- Pela mesma razão o VANT deverá incluir um sistema integrado de GNSS RTK, de forma a apresentar um plano de voo de alta precisão. Ao contrário dos sistemas GNSS habitualmente instalados nos drones que calculam a posição com informação incluída no sinal emitido pelos satélites GNSS, com erros de metros, o GNSS RTK utiliza a onda do sinal e depende de uma única estação de referência para fornecer correções em tempo real (Henriques & Roque, 2015). Na figura seguinte (Figura 7.1) encontra-se esquematizado o funcionamento de um VANT apoiado um sistema GNSS. Com as características necessárias para este tipo de trabalho atualmente no mercado consideram-se adequados equipamentos como o VANT Matrice 600 pro da DJI em conjunto com o sistema D-RTK GNSS (Figura 7.2). De referir que os dados recebidos na câmara, com este conjunto permitiriam obter coordenadas com uma precisão centimétrica (Aerial Media Pros, 2017).



Figura 7.1- Utilização de um drone com a incorporação de um sistema RTK-GNSS (Fonte: Henriques & Roque, 2015).



a)



b)

Figura 7.2 - a) *Drone Matrice 600 pro* com sistema D-RTK GNSS; b) Estação base GNSS (Fonte: DJI, 2017)

- Este conjunto necessita de um gimbal (mecanismo que permite manter uma câmara no drone perfeitamente nivelada no plano horizontal) e uma câmara de elevada resolução de imagem de baixo peso, de forma a não influenciar a autonomia das missões sendo exemplos de produtos com estas características o Zenmuse X5 Gimbal com câmara incluída. Este tipo de câmara e gimbal (Figura 7.3), por apresentarem pouco peso, permitem a realização de voos com maior autonomia e a obtenção de fotografias com qualidade de 16 MP e vídeos 4K (Aerial Media Pros, 2016. O conjunto do Matrice 600 pro e Zenmuse X5 Gimbal é capaz de apresentar autonomias de aproximadamente 30/40 minutos por missão (DJI, 2017).



Figura 7.3 - Conjunto *Zenmuse X5 Gimbal* com câmara incluída (Fonte: DJI, 2017)

Para levantamentos topo batimétricos, essenciais para obras parcialmente imersas ou para levantamento de praias emersas e imersas é essencial uma câmara LiDAR (Figura 7.4), embora o seu peso condicione o tipo de VANT a utilizar face ao seu peso ainda elevado. Para levantamentos de áreas maiores, é recomendável VANT de Asa Fixa e com maior tempo de missão. Uma câmara LiDAR, como por exemplo a Matrice 600 da empresa Routsene permite obter aproximadamente 300 pontos por metro quadrado a uma altura de 40 metros (Routsene, 2017).



Figura 7.4 – Câmara LiDAR da empresa Routscene para *drone* (Fonte: Routscene, 2017).

- Os voos devem ser realizados a uma baixa altitude (20/30 metros relativamente à arriba ou superfície a mapear), com um plano de aquisição de imagens como no caso geral (Figura 4.9) ou em dupla grelha (Figura 4.10) caso a arribas de elevada pendente.
- As fotografias devem estar georreferenciadas durante a missão, uma vez que o voo é realizado a baixas alturas e exige levantamentos homogéneos e com alta precisão;
- Também o *overlap* e *sidelap* têm que ser bastante elevados com capturas de imagem espaçados de um ou dois segundos;
- Para o processamento dos dados podem ser utilizados *softwares* como o *Pix4D*, *Agisoft Photoscan Pro*, *Drone Deploy*, *SimActive Correlator 3D*, *Drone2Map*, entre outros *softwares* de processamento;
- Com recurso ao software *ArcGis*, realizar os procedimentos explicados na presente dissertação de como calcular volumes ganhos ou perdidos entre a diferença de Modelos Digitais de Terreno;

### **7.1. Potencialidade da presente metodologia na monitorização periódica da faixa costeira de Portugal Continental**

Conjuntos de VANT, com câmara LiDAR e sistema GNSS, permitem, de forma muito eficaz e célere obter avaliações quantitativas de dinâmicas geomorfológicas que se relacionem com erosão e instabilidade de vertentes, comportamento das obras de engenharia costeira e a eficiência da modelação de frentes urbanas para ajudarem à dissipação da energia da onda e encaminhamento das águas par zonas menos sensíveis.

Na figura seguinte (Figura 7.5) é apresentado um esquema que sintetiza as componentes que envolvem este tipo de abordagem consoante o tipo de sistema costeiro a monitorizar.

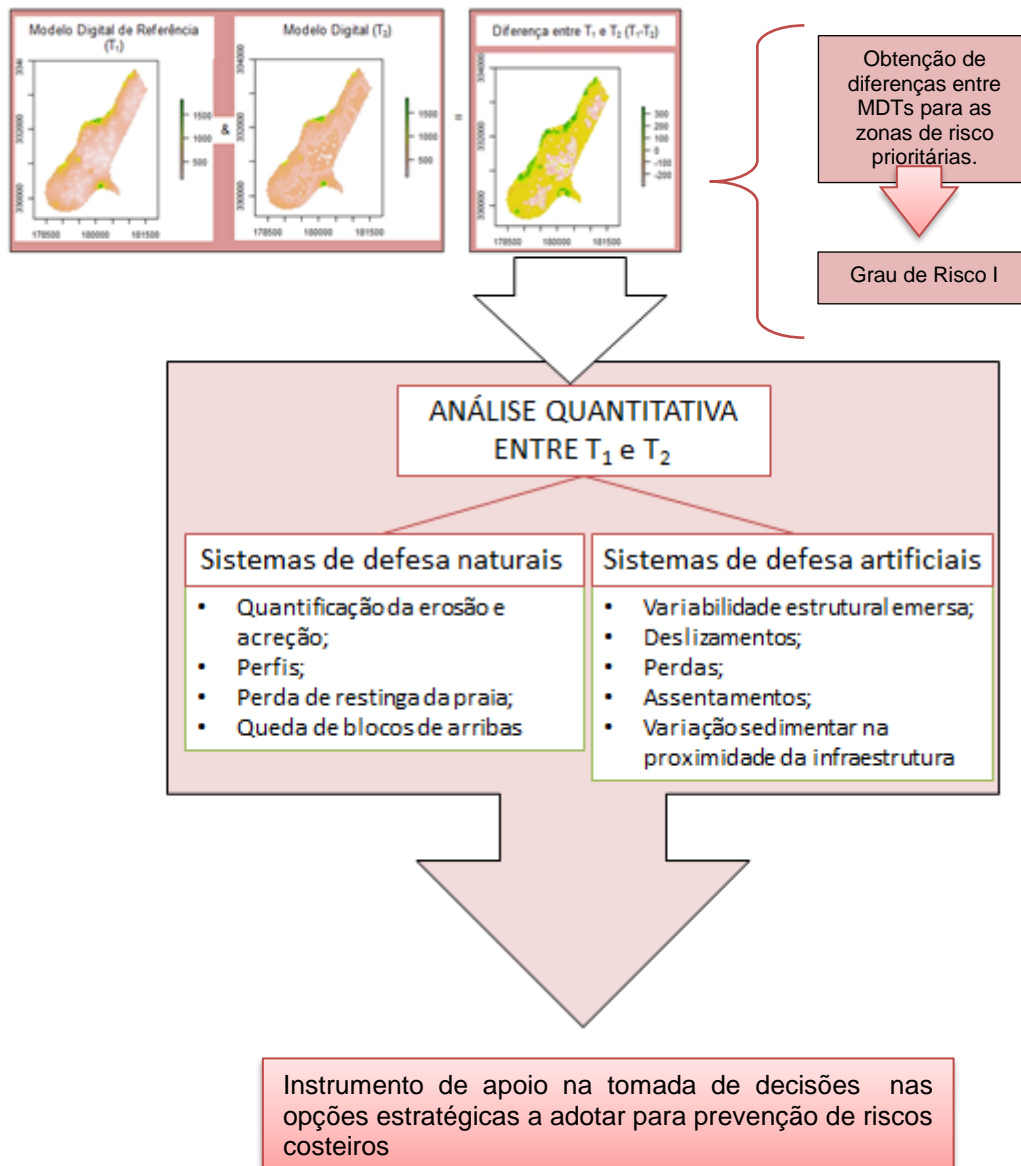


Figura 7.5 - Ferramenta de monitorização de sistemas proposta através de levantamentos obtidos com recurso a *drone* (Adaptado de ESRI, 2017).

Através da diferença entre modelos digitais de terreno, com promenorização ao centímetro (células com aproximadamente 1,72 cm), é possível detectar e quantificar mudanças geomorfológicas com elevada precisão, como sejam volumes perdidos (erosão) ou ganhos (acreção), o que constitui um importante passo para a monitorização costeira.

Segundo a APA (2017), na Tabela 28 (ANEXO B) encontram-se representadas as zonas prioritárias (Grau de Risco I) da faixa continental portuguesa. Face a esta tabela, os segmentos costeiros de Grau de Risco I devem apresentar quanto antes um Modelo Digital de Terreno (T<sub>1</sub>), o qual servirá de modelo de referência para a análise de posteriores MDTs (T<sub>2</sub>), quantificando através da sua diferença, alterações e consequente evolução da faixa costeira, tanto de sistemas naturais como de artificiais presentes nas zonas de risco prioritário.



A imagem que se segue constitui uma base de trabalho da DLPC (Fonte: António Mota Lopes, 2017) e que constitui uma proposta em termos geográficos e temporal para se montar um serviço de topobatimetria através da integração de parceiros chave, aplicando verdadeiras lógicas de GIZC.

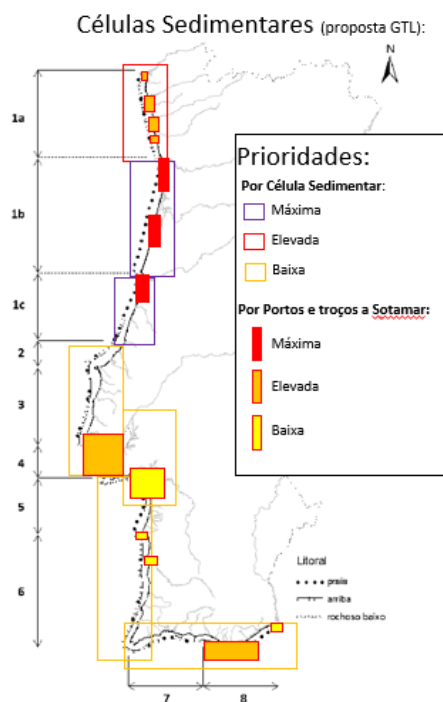


Figura 7.6 – Proposta de serviços topobatimétricos no litoral português (Fonte: António Mota Lopes, 2017)

Da proposta anteriormente mencionada apresentam-se os seguintes pontos:

1. Ponto de situação da topobatimetria nacional existente, nomeadamente:
  - a. Batimetria costeira até à zona de fecho,
  - b. Topobatimetria das Zonas Terminais de Bacias Hidrográficas (baixas costeiras).
2. Definição das prioridades no Planeamento na aquisição de novos Dados;
3. Modelos Matemáticos: Produção de Cartas de Vulnerabilidade e de Risco para diversos cenários (Curto, médio e longo prazo).

Para além de indicadores e para apoio à gestão de obras e da evolução do risco, esta informação também é essencial para que modelos matemáticos deem resultados mais fiáveis e de maior pormenorização.

Relativamente a custos face à proposta anteriormente referida, foi realizado uma estimativa que se encontra representada na seguinte tabela:

Tabela 26 – Preços relativamente à proposta dos serviços topobatimétricos

|                             | Quantidade | Preço (euros) |
|-----------------------------|------------|---------------|
| Drones                      | 7          | 22 7000       |
| Gimbal e câmara fotográfica | 3          | 6 900         |
| RTK-GNSS                    | 3          | 11 700        |
| GPS - RTK                   | 1          | 14 400        |
| Câmara LiDAR                | 1          | 8 500         |
| Softwares                   | 1          | 6 000         |
| Acessórios                  | -          | 5 000         |
| Total                       | -          | 75 200        |

Esta tabela foi realizada com base na consulta de equipamentos a 15 de Outubro de 2017, na qual, com um preço estimado de 75 mil euros, é possível a obtenção de dados muito objectivos de elevada qualidade face aos resultados que se pretende obter, tanto de topobatimetria como outros tipos de vertentes, como por exemplo sistemas de defesa costeiro ou arribas.

Estes tipos de resultados apresentam uma utilidade bastante elevada para parceiros como a:

Nível 1: APA I.P. e IH;

Nível 2: Administrações Portuárias, DGRM, DOCAPESCA, DGT e IPMA;

Nível 3: Autarquias e outras entidades;

Nível 4: Laboratórios do Estado, Investigadores e Empresas.

## 7.2. Considerações Finais

Esta dissertação teve como objetivo a formulação e aplicação de uma metodologia de avaliação e monitorização de obras de defesa costeira pesadas com recurso a Veículos Aéreos Não Tripulados com aplicação de ferramentas de processamento e análise de dados.

Tal metodologia envolveu a utilização de um VANT específico, propriedade da entidade onde decorreu o estágio, a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., que foi adquirido para monitorizar obras costeiras sob a sua jurisdição, razão porque a presente dissertação está muito orientada para as preocupações e competências deste organismo nesta área. Este estágio permitiu concluir sobre as enormes potencialidades que os VANT trarão para a monitorização costeira enquanto ferramenta essencial de apoio à gestão costeira em variadíssimos domínios e em particular numa mais eficiente gestão de obras de defesa costeira.

Ter presente que de acordo com o GTL 2014 os investimentos efetuados entre 1995 e 2015 em obras de defesa costeira foram da ordem dos 200 M€ e as tendências em cenários de alterações climáticas é que estes custos tenderão a subir de forma significativa. Esta dissertação pretende provar que os VANT se podem tornar rapidamente numa eficiente e poderosa ferramenta para apoiar estratégias de adaptação costeira em cenários de alterações climáticas, precisamente por permitir efetuar levantamentos expeditos, a baixos custos, facilmente comparáveis que podem ser obtidos predominantemente de forma automática e sobretudo com grande precisão.

Os tipo de dados que daí se podem extrair são essenciais para se implementar estratégias de adaptação costeira tal como preconizado pelo GTL em vários domínios estratégicos e com ganhos económicos muito significativos a médio e longo prazo:

- Primeiro por permitir obter fáceis correlações entre ocorrências extremas e o comportamento de obras pesadas costeiras, tornando-se assim num poderoso instrumento para ajudar a que as obras de defesa costeira possam ser mais eficientes e sustentáveis, seja para ajudar a encontrar soluções técnicas mais eficazes em função do tipo de ameaças a que estão sujeitas seja na oportunidade da sua manutenção;

- Segundo porque irá melhor permitir avaliar o sucesso e insucesso das medidas de adaptação utilizadas, sobretudo porque uma monitorização do nível centimétrico aplicada a longos trechos costeiros e aos seus diferentes sistemas, sejam naturais sejam artificiais, proporcionará dados mais objetivos que permitirá perceber melhor os efeitos das intervenções efetuadas (consequências de uma obra a barlar, impacto a nível local de campanhas de alimentação artificial ou alterações ao nível do ciclo sedimentar em bacias hidrográficas na deriva costeira);

- Terceiro porque pode ajudar a melhor perceber eventuais alterações nos regimes de tempestades através dos seus efeitos na margem do mar e consequentemente ajudar a

perceber melhor as tendências do sistema e ajudar à decisão se devemos continuar a defender e a acomodar, ou se devemos retirar usos em risco;

- E quarto porque, se aplicado de forma sistemática em campanhas integradas a nível da orla costeira continental, proporcionará a disponibilização de um indicador muito preciso sobre dinâmicas geomorfológicas costeiras (taxas de erosão e de acreção), praticamente ao nível do  $m^3$  ganho ou perdido que, de forma muito objetiva permitirá caracterizar as tendências da evolução dos sistemas, inclusivamente arribas mesmo para as mais coesas, e mesmo sobre a variabilidade climática quando se tiver series mais longas, e de grande valia para se encontrarem soluções mais sustentáveis na aplicação dos recursos financeiros e minimizar a colocação em risco de populações e atividades.

Os VANT, embora requeiram um treino especializado para serem operados em segurança, face à evolução tecnológica disponível quer por permitir missões pré-programadas, estão ao alcance de qualquer técnico ou entidade e que a sua crescente vulgarização, ao ponto de ser facilmente pilotado por crianças, constitui uma vantagem mais para o seu sucesso no campo da monitorização costeira.

Para que se possam ter levantamentos fotogramétricos de qualidade existem um conjunto de aspetos a ter em atenção, facilmente obtidos em curtas ações de formação e que envolvem desde as características dos materiais a usar, as condições de mar e tempo mais adequadas, o planeamento das missões em função dos tipos dos sistemas costeiros e dos dados a tratar e sem descuidar os aspetos de segurança e legais e que uma utilização responsável exige e que estão todos eles caracterizados neste trabalho.

Na presente dissertação foram utilizados levantamentos com imagem obtidas por câmaras RGB normais sem GPS incorporado de qualidade mediana (*actioncam* com 12 MP), obtidas em voos entre os 15 e os 50 metros depois de devidamente autorizados pela Autoridade Aérea Nacional, com um espaçamento de imagens de 1 a 2 segundos para se obter sobreposições de imagens elevadas (*overlap* e *sidelap*). O pós-processamento das imagens recolhidas envolveu a utilização de programas de processamento adequados (*AgiSoft PhotoPro Scan* e *Pix4D* nas suas versões demo), implicou o cruzamento dos *tracklog* do GPS do *drone* com o tempo de cada fotografia para ficarem georreferenciadas e para aferição do modelo tridimensional em termos absolutos, os ortomosaicos e os modelos digitais de terreno foram georreferenciados a partir dos Ortos de 2008 e de 2014/15, com píxeis de 10 cm e disponibilizados através de serviços geográficos pela Direção Geral do Território, uma vez que os levantamentos foram efetuados sem o auxílio de GPS RTK

Para comparação dos dados dos levantamentos efetuados com o VANT e para além dos Ortos já referidos, utilizou-se ainda os dados de LiDAR de 2011 que apresentam uma densidade de um ponto por cada  $4 m^2$ , quando as nuvens de pontos obtidos com recurso ao VANT obtiveram uma densidade de 138 pontos para aquela mesma área ( $4 m^2$ ).

O caso de estudo incidiu sobre dois esporões, o EV2 e EV1 na Cova do Vapor, concelho de Almada e baseou-se numa análise quantitativa e visual para diferentes períodos temporais obtidos através de dados geográficos de diferente época: LiDAR de 2011 e ortofotografias de 2008, 2014-15 da DGT e 2017 obtida através dos levantamentos do VANT da APA.

Os resultados obtidos não são propriamente uma novidade, uma vez que as alterações mais significativas nestas duas obras ocorreram onde seria expectável, predominantemente nas cabeças dos esporões e nas suas faces mais exposta à ação das águas muito devido à agitação marítima, mas também, muito provavelmente, também devido às correntes de vazão e de enchente na foz do Tejo.

O interesse dos resultados tem a ver com a precisão dos dados, com o facto de poderem ser obtidos de forma expedita e barata e o facto da metodologia utilizada, se otimizada, permitir praticamente serem obtidos de forma automatizada na quase totalidade do processo, sobretudo ao nível do pós-processamento e desde que utilizados os meios ajustados nos levantamentos de terreno.

Foram aplicados dois tipos de análises, uma quantitativa e outra visual. A análise quantitativa permite com objetividade ter a variação volumétrica ocorrida nas obras entre diferentes datas. A visual permite identificar as principais alterações superficiais ocorridas nas obras através das alterações evidenciadas entre ortofotografias.

Dentro das quantitativas foram abordadas duas metodologias que se basearam nas variações volumétricas do enrocamento das obras através da comparação dos dados do LiDAR 2011 com os levantamentos com VANT de 2017, sendo que uma incidiu sobre a variação da alturas dos píxeis dos levantamentos aerofotogramétricos e a outra foi obtida através dos métodos clássicos de variação entre perfis retirados dos respetivos Modelos Digitais de Terreno.

Através do método dos perfis, para o EV2 obteve-se uma variação volumétrica total de 2961,21 m<sup>3</sup>, sendo que 63% ocorreu na cabeça da obra, 28% no corpo e 9% no enraizamento. Destas variações ocorridas, 65% ocorreram na face norte do esporão, enquanto os restantes 35% a sul do mesmo. Através do método da altura dos píxeis estes mesmo valores tiveram um desvio de 11% com a seguinte distribuição: 54% das alterações a incidir na cabeça do esporão, 44% ao seu corpo e cerca de 2% na raiz. Relativamente à cabeça do EV1, da utilização do método dos perfis, foi calculado uma variação de 1 698,54 m<sup>3</sup> e, segundo o método da variação da altura dos píxeis, 1 452,21 m<sup>3</sup>, com maior incidência na frente e a sul da cabeça do esporão. Destes dois métodos quantitativos, houve um erro de 11% para o EV2 entre o volume alterado dos dois métodos e um erro de 15% para o EV1.

Face às análises quantitativas, a variação da altura dos píxeis apresenta uma clara vantagem sobre a utilização dos perfis, uma vez que este apresenta resultados de forma automática a qual depende exclusivamente da qualidade dos modelos digitais de terreno, enquanto a análise por perfis depende tanto dos MDT utilizados como depende da quantidade de perfis realizados.



Para a análise visual, foram utilizadas três metodologias baseadas na comparação dos dados geográficos disponíveis através de serviços geográficos da DGT de 2008, 2014-2015 e dados obtidos através do VANT de 2017. Uma das metodologias envolver a análise direta entre ortofotos, outra a sua sobreposição 2D e comparação das ortofotos através da otimização da cor dos pixéis.

As análises visual não são tão objetivas como as quantitativas, mas, mesmo assim, servem de suporte à análise quantitativa, uma vez que uma análise visual, aliada a uma análise de resultados mensuráveis acaba por ser uma mais-valia nos processos de apoio à tomada de decisão e permitirá maior eficiência financeira no planeamento e gestão das obras. A qualidade dos elementos obtidos depende intrinsecamente de vários fatores, nomeadamente a qualidade do material utilizado, as condições climáticas, entre outras. Não há dúvidas de que quando aperfeiçoadas, as metodologias baseadas com recurso a *drone* serão uma poderosa ferramenta, apresentado dados de elevada precisão e objetividade a um custo baixo. Apesar dos resultados obtidos serem bastante promissores, ainda é necessário a realização de estudos nesta área de forma a poder utilizar-se na totalidade as capacidades que os *drones* podem vir a fornecer num infindável campo de aplicações.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abecasis, F. (1997). Caracterização geral geomorfológica e aluvionar da costa continental portuguesa, Ed, *Associação Eurocoast Portugal*, Porto, p. 9-24.
- ADÃO, T., HRUŠKA, J., PÁDUA, L.,...SOUSA, J. (2017). Hyperspectral Imaging: A Review On Uav-Based Sensors, Data Processing And Applications For Agriculture And Forestry. *Remote Sens*, 9, 1110.
- Aerial Media Pros (2017). Dji Matrice 600 – Professional Aerial Hecicopter Plataform. Disponível em: <http://www.aerialmediapros.com/store/dji-matrice-600-professional-aerial-hexacopter-platform/dp/974>. Acedido a 10-10-2017.
- Ajayi, O., Salubi, A., Angbas, A., Odigure, O. (2017). Generation of accurate digital elevation models from UAV acquired low percentage overlapping images. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), p.3113-3134.
- Alfredini, P. (2005). Obras e Gestão de Portos e Costas. A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. Blücher, São Paulo, Brasil.
- ANAC. (2016). Regulamento n.º1093/2016. Diário da República, 2.ª série – N.º238 – 14 de dezembro de 2016.
- Andrade, C. & Freitas, C. (2002). Coastal zones. Em F.D.SANTOS, K. FORBES, R. MOITA (ed.), *Climate Change in Portugal. Scenarios, impacts and adaptation measures*. SIAM Project, Gradiva, p.175-219.
- Angelats, E. Navarro, J. A. (2017). Towards a Fast, Low-Cost Indoor Mapping and Positioning System for Civil Protection and Emergency Teams. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W8 (Novembro), p.9-15.
- Antunes, C. (2014). A subida do NMM e a necessidade de revisão dos referenciais verticais. Em Insituto Hidrográfico. *Actas das 3.º Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa, p. 37-40
- Antunes, C. (2014). Eventos extremos e variação do nível do mar. Em Insituto Hidrográfico. *Actas das 3.º Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa, p. 33-36
- Antunes, C., & Taborda, R. (2009). Sea level at Cascais tide gauge: Data, analysis and results. *Journal of Coastal Research*, SI 56, p. 218-222. SSN 0749-0258
- Antunes, C., (2014). Dados do Marégrafo de Cascais, PSMSL e IGP/DGT
- APA. (2004). Empreitada re reparação dos esporões e das obras aderente4s da costa da Caparica e da Cova do Vapor, Direcção de Serviços de Projectos e Obras – Divisão de Obras
- APA. (2012). Plano de ação de proteção e valorização do litoral 2012 - 2015. Agência Portuguesa do Ambiente, p.88
- APA. (2017) Programas da Orla Costeira. Disponível em: <https://www.pambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=10&sub3ref=119>
- Basco, R. (2006). Shore Protection Projects. Coastal Engineering Manual, Part V: Coastal Project Planning and Design, Chapter 3, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC
- Beltrão, S (2017). Como é gerado o Ortomosaico Georreferenciado: Um dos produtos cartográficos básicos em volta do mapeamento aéreo com Drones. Artigo da Empresa xd4solutions – serviços de mapeamentos, imagens e filmagens feitas por drone. Disponível em: <https://www.xd4solutions.com.br/single-post/2017/06/02/Entenda-como-%C3%A9-gerado-o-Ortomosaico-Georreferenciado-Um-dos-produtos-cartogr%C3%A1ficos-b%C3%A1sicos-em-volta-do-mapeamento-a%C3%A9reo-com-Drones>
- Benassi, F., Asta, E., Diotri, F., Fornali, G....Santise, M. (2017). Testing Accuracy And Repeatability Of Uav Blocks Oriented With Gnss-Supported Aerial Triangulation. *Remote Sens*. 9, 172.

- Borrego, C., Lopes, M., Ribeiro, I., Carvalho A., Miranda, A. (2010). As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. CAPTAR ciência e ambiente para todos, pp. 1-16.
- Brilha, J. (2005). Património Geológico e Geoconservação: A conservação da Natureza na sua vertente geológica. Braga: Palimage Editores.
- CAA, (2016). Impact Assessment of a proposal to amend the air navigation order to address the regulation of Unmanned Aircraft Systems. Report of Safety Regulation Group of Civil Aviation Authority. Disponível online em: <http://www.caa.co.uk/publications>
- Camargos, L., Silva, C., Moraes, M., Prudente, C. (2015). Aplicação do Modelo Digital de Terreno (MDT) Advanced Elevation Series (AES) em parte do município de Formosa, GO. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, p.4559-4566.
- Campiteli, M. (2016). Mosaico de ortofotos: o que você precisa saber. Disponível em <http://blog.droneng.com.br/mosaico-de-ortofotos/>
- Cardona, F. (2015). Avaliação do risco de erosão, galgamento e inundação costeira em áreas artificiais de Portugal continental. Estratégias de adaptação face a diferentes cenários de risco (relocalização, acomodação e proteção). Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia
- Carrascosa-Mesas, F., Garcia, M., Larriva, J., Ferrer, A. (2016). An Analysis Of The Influence Of Flight Parameters In The Generation Of Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Orthomosaics To Survey Archaeological Areas. *Sensors (Basel)* Nov; 16(11), 1838
- Castanho, J. (1962). Métodos Empregados na Defesa contra a Erosão Costeira. Memória nº 196, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Cavaca, A., António, V., Crispim, L., Dias, J. (2005). Modelação de superfícies por correlação automática de imagens. *Boletim do IgeoE*, 67, p.29-35.
- CEPEMAR (2010). Serviços De Consultoria Em Meio Ambiente Ltda. RIMA - Relatório de Impacto Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Complexo Portuário de Tubarão. Relatório Técnico COM RT 008/10. Janeiro 10/Rev 00. Vitória, ES, 2010
- Clarke, R., Moses, L., (2014), The regulation of civilian drones' impacts on public safety. *Computer Law and security review*, p. 263-285
- Coelho, C. (2005). Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Dissertação de doutoramento. Universidade de Aveiro
- Cracknell, A., Hayes, L. (2007). *Introducing to remote sensing*. CRC Press.
- Dalbelo, I. (2013). Apresentação na Conferência MundoGeo Connect Latin america 2013, Conference and Trade Fair for Geomatics and Geospatial Solutions, junho, São Paulo, Brasil.
- Demolinari, H. (2016). Projecto de construção um drone hexacóptero. Projecto de graduação II. Universidade Federal Fluminense. Trabalho para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico
- Dias, J. M. & Taborda, R. P. (1988). Evolução recente do nível médio do mar em Portugal. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 9, p. 83-97.
- Dias, J. M. (1993). Estudo de avaliação da situação ambiental e propostas de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa (Parte de Geologia Costeira). Lisboa: Liga para a Protecção da Natureza / Ministério do Ambiente
- Dias, J. M. (2004). A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios. Em A. A. Tavares, M. J. Tavares, & J. L. Cardoso, *Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenómenos Correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*. Lisboa, p. 157-170
- Dias, J. M. (2005). Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. 1, pp. 8-28.

- Dias, J. M. (2009). Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira - Consulta Pública Posição crítica de J. Alveirinho Dias
- Dias, J. M. Alveirinho (1990) - A Evolução Actual do Litoral Português. Geonovas, 11:15-28, Lisboa, Portugal. ISSN: 0870-7375.
- DJI (2017). The Matrice 600 pro. Disponível em: <https://www.dji.com/matrice600>. Acedido a: 10-10-2017.
- Drone Deploy (2017). Capturing Ground Control Points (GCPs). Disponível em <https://support.droneDeploy.com/v1.0/docs/working-gcp-step-by-step>
- Drone Deploy (2017). What Are Ground Control Points (GCPs) and How Do I Use Them? A Guide to Using Ground Control Points with Drone Mapping Software. Disponível em: <https://blog.droneDeploy.com/what-are-ground-control-points-gcps-and-how-do-i-use-them-4f4c3771fd0b>
- EASA (2015). A proposal to create common rules for operating drones in Europe.
- Evans, J. & Guishard, P. (2009). Atlantic subtropical storms. Part I. *Diagnostic Criteria and composite analysis*. Am. Meteor. Soc, p.2065-2080
- Ferreira, A., Grifo, A. (2014). Contribuição do modelo digital de terreno na produção agrícola.
- Ferreira, J. (2016). Ordenamento Ambiental de Frentes Urbanas Litorais em Áreas Baixas de Elevado Risco e Vulnerabilidade ao Galgament Costeiro. As infraestruturas Verdes Como estratégia de Resiliência para as Comunidades Costeiras. Dissertação de Doutoramento. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia
- Ferreira, R: (2016). Análise de dados de agitação num ponto da costa marítima portuguesa. Implicações para o dimensionamento de quebra-mares verticais. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia
- Fleming, C. A., Allsop, N. W. H., Leeming, M. B., Sharp, B. N., Slater, D., Williams, A. J., Titman, P. (1998). Concrete in Coastal Structures. Thomas Telford, London, 301 p.
- French, P. W. (2001). Coastal Defences. Processes, problems and solutions., Routledge, Londres
- Giongo, M., Koehler, H., Do, S., Marchetti, M. (2010). LiDAR: princípios e aplicações florestais. EMBRAPA, p. 231-232. 2010.
- GTL. (2014). Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da zona costeira - O desafio da mudança. Agência Portuguesa do Ambiente I.P.
- Gulev, S., Zolina, O., & Grigoriev, S. (2001). Extratropical-cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data. *Climate Dynamics*, Springer-Verlag, p. 795-809
- Hargrave, (2005), The Pioneers. Aviation and Aeromodelling, Interdependent evolutions and histories. Disponível online em [www.ctie.monash.edu.au/hargrave](http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave). (Consultado em Maio de 2017).
- Henriques, M., Roque, D., (2015). Unmanned aerial vehicles (UAV) as a support to visual inspection of concrete dams.
- Henriques, M., Roque, D., Santos A., (2016). Monitorização de quebra-mares com veículos aéreos não tripulados. Seminário Internacional UAV, Lisboa 3-4 Março.
- Hinkel, J., Nicholls, R., Tol, R., Wang, Z., Hamilton, J., Boot, G. Klein, R. (2013). A global analysis of erosion of sandy beaches and sea-level rise: An application of DIVA. *Global and Planetary Change*, 111, p. 150-158.
- Holthuijsen, H. (2007). Waves in Oceanic and Coastal Waters. Cambridge University Press
- Houghton, A. (2011). Health Impact Assessments A Tool for Designing Climate Change Resilience Into Green Building and Planning Projects. *Journal of Green Building*.

- Hughes, S. A. (2006). Materials and Construction Aspects. Coastal Engineering Manual, Part VI: Design of Coastal Project Elements, Chapter 4, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- INE (2011). Censos 2011 – Statistics Portugal. Disponível em: <http://censos.ine.pt/xportal/xmai?xpgid=censos2011apresentacao&xpid=CENSOS>.
- INE (2016). Estatísticas do Turismo – 2015. Disponível em [https://www.ine.pt/xportal/xmainxpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=265858123&PUBLICACOESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmainxpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=265858123&PUBLICACOESmodo=2)
- Instituto Hidrográfico (2017). Bóias Ondógrafo. Disponível em <http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php>. Acedido a 07 de Setembro
- Instituto Hidrográfico. (2017). Marés. Obtido de [hidrografico.pt: http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php](http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php)
- IPCC, (2013). Climate Change 2013 - The physical science basics. 206 p. Disponível em: [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf).
- IPCC, (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change, 5th Assessment Report, WGI, WGII and WGIII. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>.
- Jamel, C; Matias, L., (2012). Tecnologia: Imageamento por VANTs do tipo Multi-rotor. Webinar MundoGeo. NovaTerra.
- Komar, P. (1976). “Beach Processes and Sedimentation”; Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, p. 429.
- Leitão, J., Vitry, M., Scheidegger, A., Rieckermann, J. (2016). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, p.1637–1653.
- Lemos, R., Silva, L., Fortes, J., Luís, L. (2014). Base de dados ANOSOM – Análise da observação sistemática de obras marítimas – O caso do porto de Nador. Em Instituto Hidrográfico. *Actas das 3.ª Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Lisboa, p. 335-338.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B., Flood, M. (2003). LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography* 27,1, p.88-106.
- Lima, M. (2011). Programa de Métodos de Pré-Dimensionamento de Obras Costeiras. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Lira, C. (2014). Análise da evolução da linha de costa em litoral baixo e arenoso nos últimos 50 anos – Relatório Técnico de Apoio ao Estudo do Grupo de Trabalho do Litoral (GTL). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Centro de Geologia. Instituto Dom Luiz, 16p (versão de trabalho v.1.2), Setembro, 2014.
- Lira, C., Taborda, R., Andrade, C. (2013). Estimativas de descarga sólida fluvial potencial. In: Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo. Entregável 1.1.2.b.
- Long, N., Millescamp, B., Guillot, B., Pouget, F., Bertin, X. (2016). Monitoring The Topography Of A Dynamic Tidal Inlet Using Uav Imagery. *Remote Sens.* 2016, 8(5), 387.
- Losada, J., Field, C., Barros, V., Mastrandrea, M., ... Yohe, G. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC WGII AR5 summary for policymakers*.
- Marnoto, J. (2013). Apresentação técnica na Ordem dos Engenheiros em Lisboa.
- Matos, J. (2001). Fundamentos de Informação Geográfica – Modelação Geográfica, Análise Espacial, Cartografia Digital e Qualidade. Geomática, LIDEL
- Molg, N., Bolch, T. (2017). Structure-From-Motion Using Historical Aerial Images To Analyse Changes In Glacier Surface Elevation. Department Of Geography, University Of Zurich, Winterthurerstrasse. *Remote Sens.* 2017, 9, 1021.

- Moutinho, O., Rodrigues, A., Gonçalves, J. A., Sousa, J. J., Bento, R. (2015). MicMac: uma alternativa open source para fotogrametria com RPAS. *DENG – Livro de Ata de Conferência*.
- Nex, F., Remondino, F., (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Appl. Geomat*, 6, p.1-15.
- Oliveira, I. B. M. (1990). “Erosão Costeira no Litoral Norte: Considerações Sobre a Sua Génese e Controlo”; *Actas do 1º Simpósio Sobre a Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz*, Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Porto, p. 201-221.
- Oliveira, I. B. M., Valle, J., Miranda, F. (1982). Litoral Problems in Portuguese West Coast. Em *Coastal Engineering*, vol. III, p.1951-1969.
- Oliveira, M. (2015). *Evolução Natural e Antrópica Trafaria – Cova do Vapor – Costa da Caparica*. Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Arquitectura Paisagista. Universidade de Lisboa – ISA.
- Paiva, A. (2015). Fotogrametria não-tripulada: O advento do mapeamento por drones.
- Pajares, G. (2015). Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81, p. 281-329.
- Paredes, C. (2015). Cartografia para a monitorização e controlo de áreas de Hakea Sericea com processos de detecção remota (satélite e drone). Tese para a obtenção do grau de doutoramento. Universidade de Vigo
- Pegoraro, A. (2013). Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadroto, como plataforma na obtenção de dados cadastrais. Tese para a obtenção de grau de doutoramento. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Penacho, (2013). Caracterização, evolução e análise de suscetibilidade à ocorrência de instabilidades das arribas do arco Baleal- Bom Sucesso (Peniche-Óbidos). Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa.
- Pereira, A. (2004). O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *Geoinova*, 9, Lisboa, p.33-43.
- Pfeffer, W., Harper, T., Neel, O. (2008). Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise. *sciencemag*, 321, p.1340-1343
- Pichon, L., Ducanhez, A., Fonta, H., Tisseyre, H. (2016). Quality of Digital Elevation Models obtained from Unmanned Aerial Vehicles for Precision Viticulture. *OENO One*, 50 (3), p.101-111.
- Pinto et al., C. A., Taborda, R., Andrade, C. (2007). Evolução Recente da Linha de Costa no Troço Cova do Vapor – S. João da Caparica. Em *5as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Lisboa.
- Pinto, C. (2014). Registo das ocorrências no litoral - Temporal de 3 a 7 de Janeiro de 2014. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente.
- Pix4D (2017). Step 1. Before Starting a Project > 1. Designing the Image Acquisition Plan > a. Selecting the Image Acquisition Plan Type.
- PROCIV. (2010). Cadernos técnicos PROCIV 15: Riscos Costeiros - Estratégias de prevenção, mitigação e protecção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território. Autoridade Nacional de Protecção Civil.
- Quarenghi, F. (2016). Ortofoto da cidade de Bérgamo. Disponível em [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ortofotografia#/media/File:Ortofoto\\_Citt%C3%A0\\_Alt\\_a,\\_Rocca.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ortofotografia#/media/File:Ortofoto_Citt%C3%A0_Alt_a,_Rocca.jpg)
- Rahman, M., Mcdermid, G., Strack, M., Lovitt, J. (2017). A New Method To Map Groundwater Table In Peatlands Using Unmanned Aerial Vehicles. *Remote Sensing*, 9(10), 1057
- Rahmstorf, S. (2007). A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise. Em *sciencemag – Science AAAS*, 315, p. 368-370.
- Rango, A., Laliberte, C., Steele, C., ... Schmugge, T. (2006). Research Article: Using Unmanned Aerial Vehicles for Rangelands: Current Applications and Future Potentials, p. 159-168.



- Real Decreto-Ley 8/2014, de 4 de Julio (2014). Aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividade y la eficiencia. Boletín Oficial del Estado, num. 163. Sec. I. Página 52544.
- Rifolfi, E., Buffi, G., Venturi, S., Manciola, P. (2017). Accuracy Analysis Of A Dam Model From Drone Surveys. Dica Department Of Civil And Environmental Engineering, University Of Perugia, Italy. *Sensors* 2017, 17, 1777.
- Rogers, J. (1997). North Atlantic storm track variability and its association to the North variability of Northern Europe. *Am. Meteor. Soc.*, p. 1935-1947.
- Routscene (2017). UAV LiDAR 3D Mapping. Disponível em <http://www.routscene.com/solutions/solution/3d-mapping/>. Acedido a: 10-10-2017.
- Santos Ferreira, A., Santos, C., (2014). Molhe Norte da Barra do Douro. *Ingenium II. Série n.º 141*, Maio/Junho 2014.
- Santos, A., Mendes, S. & Corte-Real, J. (2014). Impacts of the storm Hercules in Portugal. *Em FINISTERRA – Revista Portuguesa de Geografia*.
- Santos, F. D., Forbes, K., & Moita, R. (2002). Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM. Lisboa: Gradiva.
- Silva, A.N., Taborda, R., Bertin, X., Dodet, G., (2012). Seasonal to Decadal Variability of Longshore Sand Transport at the Northwest Coast of Portugal. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 138(6), p. 464–472.
- Silva, L. (2014). Avaliação do desempenho das políticas de defesa costeira: Obras de Defesa Costeira de 1995 a 2014. Contributo para o Sistema de Administração do Recurso Litoral (SIARL). Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Sousa, D. (2015). Avaliação dos efeitos dos temporais de 2013/2014 nas infraestruturas e equipamentos do litoral de Vila Nova de Gaia. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Sousa, N. (2011). Obras Marítimas de Acostagem: O Caso do Porto de Abrigo da Ilha do Porto Santo. Dissertação de Mestrado. Universidade da Madeira.
- Teixeira, B. (2014). Coastal hazards from slope mass movements: Analysis and management approach on the Barlavento Coast, Algarve, Portugal. *Ocean & Coastal Management*, p. 285- 293
- The Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). Integrated management of coastal zones. Disponível em [www.fao.org/docrep/003/t0708e/t0708e00.htm](http://www.fao.org/docrep/003/t0708e/t0708e00.htm).
- Uchino O., Sakai T., Izumi T.,... Nagai T., Morino I., (2017). "Lidar detection of high concentrations of ozone and aerosol transported from northeastern Asia over Saga, Japan". *Atmospheric Chemistry and Physics*.
- Valle, A. (2014). Perda de Território por Ação do Mar: Uma Questão Nacional. *Ingenium II. Série n.º 141*, Maio/Junho 2014.
- van Rijn, L. C. (2010). Coastal erosion control based on the concept of sediment cells. Deltares, the Netherlands: European Commission.
- Veloso-Gomes, F., Barroco, A., Pereira, A. R., Reis, C. S., Calado, H., Ferreira, J. G., . . . Biscoito, M. (2006). Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F. (1997). A Opção "Protecção para a Costa Oeste Portuguesa. *Em Colectânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal*, Associação Eurocoast-Portugal, p. 163-190.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., Rodrigues, A., (2006). Estudo das Intervenções na Costa da Caparica. *1.ª Jornadas de Hidráulica Recursos - Hídricos e Ambiente*. Lisboa, p.27-35.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., Rodrigues, A., (2007). As Obras de Defesa Costeira na Costa da Caparica. *Na Crista das Ondas do Mar e da Comunicação Social. 2.ª Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*. Lisboa, p.23-32.

- Vidal, A. (2013). Extração e avaliação de geo-informação pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto – Faculdade de Ciências.
- Wagner, W., Ullrich, A., Ducic, V., Melzer, T. and Studnicka, N., (2006). Gaussian decomposition and calibration of a novel smallfootprint full-waveform digitising airborne laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 60(2), pp. 100– 112.
- Warrick, A., Ritchie, C., Adelman, G., Adelman, K., (2017). New techniques to Measure Cliff Change from Historical Oblique Aerial Photographs and Structure-from-Motion Photogrammetry. U.S Geological Survey Santa Cruz, pp. 39-55.
- Weissenberger, S. & Chouinard, O. (2015). Adaptation to Climate Change and Sea Level Rise. The Case Study of Coastal Communities in New Brunswick, Canada.
- Wolanski, E. (2015). *Protective functions of coastal forests and trees against natural hazards*. Australian Institute of Marine Science.
- Yan, L., Fei, L., Chen, C., Ye., Z., Zhu, R. (2016). A Multi-View Dense Image Matching Method For High-Resolution Aerial Imagery Based On A Graph Network. *Remote Sensing* 8(10):799.
- Yang, Y., Lin, Z., Liu, F. (2016). Stable Imaging And Accuracy Issues Of Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry Systems. *Remote Sens.* 2016, 8, 316.



## 9. ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Anexo A:</b> Figuras.....  | 199 |
| <b>Anexo B:</b> Tabelas e Gráficos.....                             | 201 |
| <b>Anexo C:</b> Legislação aplicável.....                           | 206 |
| <b>Anexo D:</b> Outros documentos.....                              | 213 |
| <b>Anexo E:</b> Carregamento das baterias, Calibração do drone..... | 215 |



## ANEXO A

**cinécartaz**  
ÚLTIMA HORA  
Pesquisa rápida  
na edição de hoje

**Local Lisboa**  
Obras no Paredão da Caparica Já Começaram  
Por N.F.

O Instituto da Água (INAG) começou ontem a tapar com cimento os buracos que o mar abre na zona norte do paredão da Costa da Caparica, entre Santo António e São João, e a colocar pedras nas outras crateras, abertas pelas vagas junto das rochas de protecção.

Ontem à tarde, era visível algum aparato, com técnicos da protecção civil impedindo os populares de se aproximarem de uma escavadora, uma betoneira e dois camiões que iam e vinham carregando pedra e despejando-a mais tarde nos buracos abertos em frente ao mar. As actuais obras de reparação deverão durar cerca de duas semanas.

A urgência da intervenção, que nada tem a ver com a obra de grande vulto que deverá reparar sete esporões e alimentar artificialmente a zona de praia cuja areia desapareceu, deve-se ao aproximar da data das marés vivas. A partir de dia 23, são esperadas marés de grande amplitude e tudo poderia ser, então, bem mais complicado.

"O previsto é que as obras se façam até ao dia 23 porque é a data em que são esperadas as marés vivas", explicou ontem António Neves, presidente da Junta de Freguesia da Costa da Caparica, que não deixou de elogiar o INAG pela sua disponibilidade em avançar o mais depressa possível com esta intervenção de emergência.

Mais a sul, em frente à Rua Pedro Álvares Cabral, o paredão continua com dois dos bantos de betão arrancados pelas vagas de Março por reparar e com um número cada vez maior de buracos no passeio.

**AMBIENTE RECUPERAÇÃO DOS ESPORÕES DA COVA DO VAPOR AINDA SEM DATA DEFINIDA**  
**INAG inicia obras de emergência nos passeios da Caparica**

Os rombos existentes no passeio marginal entre o restaurante O Marcelino e o bairro de Santo António são o alvo da intervenção

**SÓNIA LARRY ALMADA**

O Instituto da Água (INAG) avançou ontem com as obras de emergência de reparação do pavimento dos passeios junto à praia de Costa da Caparica, no concelho de Almada. João Costa, chefe de divisão do INAG, explicou em declarações à Lusa, que "as obras, com carácter de urgência, são fundamentalmente para reparação do pavimento que foi afectado nas últimas semanas, entre o restaurante "O Marcelino" e o bairro de Santo António, e agora alvo de "uma reconstrução do passeio marginal, nomeadamente, dos rombos que existem".

De acordo com a mesma fonte as obras não deverão prolongar-se por um tempo superior a duas semanas, e as obras de maior dimensão não têm ainda data marcada. A recuperação dos esporões da praia da Cova do Vapor e da Costa da Caparica deverá ter início logo após a época balnear, no mês de Outubro, quando já leva um atraso de dois meses. João Costa recusou avançar com datas precisas para o início das obras de recuperação dos esporões afirmando que "ainda não há data definida". As obras cujo término está previsto para 2005, prevêem a recuperação de sete esporões da Costa da Caparica e três esporões da Cova do Vapor.

A estrutura protectora da costa e toda a zona costeira da freguesia têm sido fortemente afectadas pela força das marés. As inundações já remontam a 2001 e, desde aí, o nível das águas tem subido acentuadamente e danificado o paredão.

Crónica de maré, o cenário na Costa da Caparica é de trabalho para os técnicos da protecção civil e da defesa civil, que se deslocam para os locais onde as ondas atingem o paredão.

**ALMADA**  
**Obras de emergência remendam esporões**

**PALAVRA-CHAVE** ► Intervenção do Instituto da Água deve durar uma semana, mas obras definitivas só deverão arrancar em 2004 ► Na Cova do Vapor, moradores temem força do mar

**Assoladora**

A chegada da primeira maré, uma grande e pesada, chamou a atenção dos técnicos que passaram no paredão da Costa da Caparica, Carlos Correia, proprietário de um restaurante, vê a força das vagas crescer para o movimento, pouco natural, mas também visível da via. "Esta obra não se devea a uma intervenção de emergência, mas sim a uma intervenção de manutenção, quando arrancaram os trabalhos de reparação urgentes na parede de protecção da praia de Várzea, a vague de São João e a vague de Santo António", explicou.

**GRANDE LISBOA**

**Hoje**  
O Instituto da Água (INAG) começou ontem a tapar com cimento os buracos que o mar abre na zona norte do paredão da Costa da Caparica, entre Santo António e São João, e a colocar pedras nas outras crateras, abertas pelas vagas junto das rochas de protecção.

**Costa da Caparica**  
O paredão da Costa da Caparica está a sofrer com a força das marés vivas. A urgência da intervenção, que nada tem a ver com a obra de grande vulto que deverá reparar sete esporões e alimentar artificialmente a zona de praia cuja areia desapareceu, deve-se ao aproximar da data das marés vivas. A partir de dia 23, são esperadas marés de grande amplitude e tudo poderia ser, então, bem mais complicado.

**Mar galgou paredão**

Protecção Civil está em alerta de proibição desde segunda-feira. As ondas chegaram a ameaçar dois parques de estacionamento e restaurantes. Máquinas retiraram areia para a colar na zona onde existia a duna

**ESTRUTURA** O paredão da Costa da Caparica está a sofrer com a força das marés vivas. A urgência da intervenção, que nada tem a ver com a obra de grande vulto que deverá reparar sete esporões e alimentar artificialmente a zona de praia cuja areia desapareceu, deve-se ao aproximar da data das marés vivas. A partir de dia 23, são esperadas marés de grande amplitude e tudo poderia ser, então, bem mais complicado.

**Avanço do mar mais notório desde 2000**

Assim como os técnicos da protecção civil, os moradores da zona também estão preocupados com a situação. Carlos Correia, proprietário de um restaurante, vê a força das vagas crescer para o movimento, pouco natural, mas também visível da via. "Esta obra não se devea a uma intervenção de emergência, mas sim a uma intervenção de manutenção, quando arrancaram os trabalhos de reparação urgentes na parede de protecção da praia de Várzea, a vague de São João e a vague de Santo António", explicou.

Figura 9.1 – Relatos da comunicação social face a obras de emergência e de reparação na Caparica (Fonte: Vários)





## ANEXO B

Tabela 27 – Intervenções de gestão do risco costeiro realizadas no concelho de Almada entre 2003 e 2014 (Fonte: Ferreira, 2016)

| Designação   | Ano  | Concelho | Tipo de Obra               | Categoria da obra | Valor Global realizado (inflacionado para 2015) | Descrição da defesa realizada   |
|--|------|----------|----------------------------|-------------------|---|---|
| Intervenção de Emergência na Reconstrução do Cordão no Troço da Praia de S.João da Caparica/Praia Norte  | 2003 | Almada   | Cordão dunar               | Leve              | 145 385,85 €                                    | Reposição do cordão dunar, numa distância total de cerca de 1500 m  |
| Intervenção de Emergência no enchimento de lombos na defesa frontal existente na Praia Norte da Costa da Caparica, situada em frente aos Parques de Campismo | 2003 | Almada   | Defesa Aderente            | Pesada            | 330 324,78 €                                    | Enchimento de lombos na defesa frontal existente na Praia Norte da Costa da Caparica, situada em frente aos Parques de Campismo   |
| Intervenção de Emergência no tapamento de lombos e proteção do talude na Marginal da Costa da Caparica, a Sul do Esporão 7                                   | 2003 | Almada   | Defesa Aderente            | Pesada            | 72 493,18                                       | Tapamento de lombos e proteção do talude na Marginal da Costa da Caparica, a Sul do Esporão 7   |
| Reparação dos Esporões e das Obras Aderentes da Costa da Caparica e da Cova do Vapor   | 2003 | Almada   | Defesa Aderente + Esporão  | Pesada            | 12 139 388,78                                   | Execução da reparação de sete esporões e de uma obra aderente na Costa da Caparica e de três esporões e uma obra aderente na Cova do Vapor.   |
| Acompanhamento pelo LNEC da Empreitada de Reparação dos Esporões e das Obras Aderentes da Costa da Caparica e da Cova do Vapor                               | 2004 | Almada   | Outros                     | Outros            | 33 639,13                                       | O acompanhamento realizado durante todo o período previsto para a realização da obra de reparação dos Esporões e das Obras Aderentes da Costa da Caparica e da Cova do Vapor.   |
| Fornecimento e montagem de escadas provisórias de acesso às Praias Urbanas da Costa da Caparica  | 2005 | Almada   | Rampas de acesso e Escadas | Outros            | 92 869,61                                       | Construção de 9 escadas, 3 metálicas e 6 em madeira, de forma provisória, para acesso dos veraneantes às praias urbanas situadas entre os esporões 1 e 7. 2 escadas, em madeira, em cada uma das 3 praias situadas entre os esporões 1 e 2, 2 e 3 e 3 e 4; - 1 escada, metálica (uma vez que vai ficar submetida à ação direta do mar), em cada uma das 3 praias situadas entre os esporões 4 e 5, 5 e 6 e 6 e 7. |

| Designação  | Ano  | Concelho | Tipo de Obra    | Categoria da obra | Valor Global realizado (inflacionado para 2015) | Descrição da defesa realizada   |
|---|------|----------|-----------------|-------------------|---|---|
|   |      |          |                 |                   |   |   |
| Intervenção de Emergência no tapamento de rombos e proteção do talude do Molhe da Costa da Caparica, a Norte do Esporão 7   | 2006 | Almada   | Defesa Aderente | Pesada            | 42 338,28                                       | Proteção do talude com a colocação de enrocamento de 1 a 3 toneladas.   |
| Intervenção de Emergência na execução da reconstrução de um troço de cordão dunar na Praia de S. João da Caparica, situado a Norte dos Parques de Campismo do CCL e do Inatel               | 2006 | Almada   | Cordão dunar    | Leve              | 239 564,09                                      | Execução da reconstrução de um troço de cordão dunar (cerca de 210 m) na Praia de S. João da Caparica, situado a Norte dos Parques de Campismo do CCL e do Inatel                       |
| Intervenção de Emergência na consolidação do cordão dunar da Praia de S. João da Caparica, no troço "Esporão EV 1 da Cova do Vapor / Defesa Aderente da Praia Norte", no Concelho de Almada | 2007 | Almada   | Cordão dunar    | Leve              | 270,544.32                                      | Consolidação do cordão dunar da Praia de S. João da Caparica, no troço "Esporão EV 1 da Cova do Vapor / Defesa Aderente da Praia Norte", no Concelho de Almada                          |
| Intervenção de Emergência na Execução da Reconstrução da obra aderente situada em frente dos Parques de Campismo do CCL e do INATEL, no troço entre o Esporão EC 7 e o Apoio dr Praia       | 2007 | Almada   | Defesa aderente | Pesada            | 125,711.74                                      | Execução da Reconstrução da obra aderente situada em frente dos Parques de Campismo do CCL e do INATEL, no troço entre o Esporão EC 7 e o Apoio de Praia                                |
| Intervenção de Emergência na Reconstrução da Defesa Aderente na Praia de S. João da Caparica, no troço a Norte do Esporão EC 7 da Costa da Caparica, no Concelho de Almada                  | 2007 | Almada   | Defesa aderente | Pesada            | 1,177,082.23                                    | Reconstrução da Defesa Aderente na Praia de S. João da Caparica, no troço a Norte do Esporão EC 7 da Costa da Caparica, no Concelho de Almada   |
| Contratação de uma equipa de fiscalização para acompanhamento da execução da empreitada de alimentação artificial das praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica                  | 2007 | Almada   | Fiscalização    | Outros            | 21,022.49                                       | Contratação de uma equipa de fiscalização para a dragagem de areias (quantidade prevista de 500.000 m3) no canal da barra sul do estuário do Tejo, e a sua colocação direta nas praias. |

| <b>Designação</b>  | <b>Ano</b> | <b>Concelho</b> | <b>Tipo de Obra</b>             | <b>Categoria da obra</b> | <b>Valor Global realizado (inflacionado para 2015)</b> | <b>Descrição da defesa realizada</b>  |
|--|------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------|--|---|
| Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e da Praia de S. João da Caparica   | 2007       | Almada          | Alimentação artificial da praia | Leve                     | 3,085,648.52   | Dragagem de areias (quantidade prevista de 500.000 m3) no canal da barra sul do estuário do Tejo, e a sua colocação direta nas praias.  |
| Fiscalização da Empreitada da Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica  | 2008       | Almada          | Fiscalização                    | Outros                   | 66,409.31  | Contratação de uma equipa de fiscalização para a dragagem de areias (quantidade prevista de 1.000.000 m3) no canal da barra sul do estuário do Tejo, e a sua colocação direta nas praias.   |
| Alimentação Artificial das praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica  | 2008       | Almada          | Alimentação artificial da praia | Leve                     | 6,519,194.97   | Execução de alimentação artificial das praias urbanas da Costa da Caparica e da praia de S. João da Caparica, com a colocação de 1.000.000 m3 de areia explorado no "banco do Bugio" e que permitirá proteger as fundações das obras de defesa costeira ali existentes (esporões e obras aderentes), o cordão dunar da praia de S. João da Caparica e as frentes urbanas da Costa da Caparica, de S. António da Caparica, S. João da Caparica e da Cova do Vapor.                             |
| Caracterização Físico-Química dos sedimentos a Dragar para a Execução da Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica | 2009       |                 | Outros                          | Outros                   | 33,434.46  | Caracterização Físico-Química dos sedimentos a Dragar para a Execução da Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica  |
| Fiscalização da Empreitada da Alimentação Artificial da Costa da Caparica e de S. João da Caparica   | 2009       | Almada          | Fiscalização                    | Outros                   | 46,756.41  | Fiscalização da Execução da Alimentação Artificial das praias urbanas da Costa da Caparica e da Praia de S. João da Caparica, com a colocação de 1.000.000 m3 de areia exploradas no "Canal da Barra Sul do Estuário do Tejo"   |
| Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica  | 2009       | Almada          | Alimentação artificial da praia | Leve                     | 6,602,658.30   | Execução da alimentação artificial das praias urbanas da Costa da Caparica e da Praia de S. João da Caparica, com a colocação de 1.000.000 m3 de areia exploradas no "Canal da Barra Sul do Estuário do Tejo" e que permitirá proteger as fundações das obras de defesa costeira ali existentes (Esporões e Obras Aderentes), o cordão dunar da Praia de S. João da Caparica e as frentes urbanas da Costa da Caparica, de S. António da Caparica, de S. João da Caparica e da Cova do Vapor. |
| Monitorização da Alimentação Artificial  | 2010       | Almada          | Monitorização                   | Outros                   | 19,312.71  | Monitorização da Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica  |

| <b>Designação</b>  | <b>Ano</b> | <b>Concelho</b> | <b>Tipo de Obra</b>             | <b>Categoria da obra</b> | <b>Valor Global realizado (inflacionado para 2015)</b> | <b>Descrição da defesa realizada</b>   |
|--|------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------|--|--|
| das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica   |            |                 |                                 |                          |  |  |
| Compatibilização de Metodologias de acompanhamento do Protocolo INAG, I.P./APL, S.A.   | 2010       | Almada          | Outros                          | Outros                   | 18,421.02  | Compatibilização de Metodologias de acompanhamento do Protocolo INAG, I.P./APL, S.A.   |
| Intervenção de Emergência na execução do prolongamento, para Norte, da estrutura longitudinal aderente da Praia de S. João da Caparica   | 2010       | Almada          | Defesa Aderente                 | Pesada                   | 301,090.04   | Reabilitação de parte da estrutura longitudinal aderente, executada em situação de emergência em 2007, na extensão mais a Norte do Esporão EC7   |
| Caracterização Físico-Química dos sedimentos a dragar para a execução da Alimentação Artificial das praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica em 2014                                 | 2014       | Almada          | Outros                          | Outros                   | n/a  | Caracterização Físico-Química dos sedimentos a dragar para a execução da Alimentação Artificial das praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica em 2014   |
| Prestação de Serviço para a Execução de Levantamento Topo-Hidrográfico de Monitorização da Empreitada de Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica em 2014 | 2014       | Almada          | Outros                          | Outros                   | /a   | Prestação de Serviço para a Execução de Levantamento Topo-Hidrográfico de Monitorização da Empreitada de Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica em 2014   |
| Prestação de Serviço para a Execução de Levantamento Hidrográfico de controlo da mancha de empréstimo no Canal da Barra Sul do Tejo  | 2014       | Almada          | Outros                          | Outros                   | n/a  | Prestação de Serviço para a Execução de Levantamento Hidrográfico de controlo da mancha de empréstimo no Canal da Barra Sul do Tejo  |
| Empreitada de Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica e de S. João da Caparica - 2014   | 2014       | Almada          | Alimentação artificial da praia | Leve                     | 1,344,091.24   | Execução da Alimentação Artificial das Praias Urbanas da Costa da Caparica e de S. João da Caparica com 1.000.000 m3 de areias exploradas no Canal da Barra Sul do Estuário do Tejo, abrangendo um comprimento de linha de costa de 3.800 m. |

Tabela 28 – Zonas de elevado Risco Costeiro (Grau I) em Portugal continental

| Segmento Costeiro | Localidade  | Administração da Região Hidrográfica | Concelho               |
|-------------------|---|--------------------------------------|------------------------|
| S5                | Praia de Ofir - Praia de Pedrinhas                    | Norte                                | Esposende              |
| S14               | Praia de Cortegaça - Praia de Torrão do Lameiro       | Centro                               | Ovar                   |
| S16               | Praia de São Jacinto - Praia do Poço da Cruz          | Centro                               | Aveiro - Ílhavo - Mira |
| S17               | Praia de Mira   | Centro                               | Mira                   |
| S21               | Praia da Cova Gala (sul) - Praia da Leirosa           | Centro                               | Figueira da Foz        |
| S27               | Praia da Pedra do Ouro                                | Tejo e Oeste                         | Alcobaca               |
| S30               | Praia de Vale Furado                                  | Tejo e Oeste                         | Alcobaca               |
| S34               | Praia da Gralha - Praia de São Martinho do Porto      | Tejo e Oeste                         | Alcobaca               |
| S35               | Praia do Mar  | Tejo e Oeste                         | Caldas da Rainha       |
| S36               | Praia do Bom Sucesso                                  | Tejo e Oeste                         | Óbidos                 |
| S39               | Praia do Pico da Antena                               | Tejo e Oeste                         | Óbidos                 |
| S41               | Praia do Baleal (norte) (Lagido)                      | Tejo e Oeste                         | Peniche                |
| S48               | Praia da Consolação - Praia das Rochas                | Tejo e Oeste                         | Peniche                |
| S54               | Praia de Valmitão                                     | Tejo e Oeste                         | Lourinhã               |
| S55               | Praia de Porto Novo - Praia de Santa Rita (norte)     | Tejo e Oeste                         | Torres Vedras          |
| S56               | Praia do Amanhã - Praia da Formosa                    | Tejo e Oeste                         | Torres Vedras          |
| S58               | Praia do Porto da Assenta                             | Tejo e Oeste                         | Torres Vedras          |
| S59               | Praia da Calada                                       | Tejo e Oeste                         | Maфра                  |
| S64               | Praia do Norte (Algodão)                              | Tejo e Oeste                         | Maфра                  |
| S65               | Praia do Sul  | Tejo e Oeste                         | Maфра                  |
| S66               | Praia da Foz do Lizandro                              | Tejo e Oeste                         | Maфра                  |
| S67               | Praia do Magoito                                      | Tejo e Oeste                         | Sintra                 |
| S68               | Praia das Azenhas do Mar                              | Tejo e Oeste                         | Sintra                 |
| S71               | Praia Grande do Guincho                               | Tejo e Oeste                         | Cascais                |
| S72               | Praia da Água Doce - Praia da Crismina                | Tejo e Oeste                         | Cascais                |
| S75               | Praia da Bafureira                                    | Tejo e Oeste                         | Cascais                |
| S77               | Praia da Cova do Vapor - Praia da Cornélia            | Tejo e Oeste                         | Almada                 |
| S80               | Praia da Lagoa de Albufeira                           | Tejo e Oeste                         | Sesimbra               |
| S95               | Praia do Patacho                                      | Alentejo                             | Odemira                |
| S97               | Praia da Zambujeira do Mar                            | Alentejo                             | Odemira                |
| S99               | Praia do Monte Clérigo                                | Algarve                              | Aljezur                |
| S100              | Praia da Arrifana                                     | Algarve                              | Aljezur                |
| S104              | Praia Dona Ana  | Algarve                              | Lagos                  |
| S108              | Praia de Carvoeiro                                    | Algarve                              | Lagoa                  |
| S110              | Praia de Benagil                                      | Algarve                              | Lagoa                  |
| S111              | Praia Nova - Praia da Cova Redonda                    | Algarve                              | Lagoa                  |
| S113              | Praia do Castelo - Praia da Coelha                    | Algarve                              | Albufeira              |
| S116              | Praia Maria Luísa                                     | Algarve                              | Albufeira              |
| S118              | Praia do Forte Novo - Praia do Garrão (Nascente)      | Algarve                              | Loulé                  |
| S119              | Praia de Faro (Mar)                                   | Algarve                              | Faro                   |
| S120              | Praia da Barreta (Mar) - Praia da Ilha do Farol (Mar) | Algarve                              | Faro                   |
| S121              | Praia da Culatra (Mar) - Praia da Armona (Mar)        | Algarve                              | Faro                   |
| S122              | Praia da Fuseta (Mar)                                 | Algarve                              | Faro                   |





## ANEXO C

Autorização da realização das missões segundo a AAN



### AUTORIZAÇÃO / AUTORIZATION N.º AAN 4039/17

Nos termos do artigo 4º da Lei n.º 28/2013, de 12 de abril, é concedida a autorização ao requerente abaixo indicado, para efectuar o seguinte tipo de operação:

*In accordance with article 4 of Law 28/2013, dated 12 april, we hereby grant permission to the applicant below to carry out the operation stated in item 1., as requested.*

#### TITULAR / HOLDER

Nome/Entidade: AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, I.P.  
*Name/Entity*

Telefone: 21 471 90 74  
*Telephone*

Tlm: \_\_\_\_\_  
*Mobile*

#### PILOTO / PILOT

Nome/designação: AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, I.P.  
*Name/designation*

Telefone: \_\_\_\_\_  
*Telephone*

Tlm: \_\_\_\_\_  
*Mobile*

1. Tipo de operação autorizada: Filmagem/fotografia panorâmica  
*Type of Operation*

2. Condições técnicas e administrativas estabelecidas:  
*Technical and Administrative Procedures*

– Local / locais autorizado(s) nas zonas especiais previstas no DL 248/91 (ver Notas n.º 2 e 3):

○ **n/a.**

– Local / locais autorizado(s) em zonas sob jurisdição militar (ver Notas n.º 2 e 3):

- **Corredor com 50m de largura, ao longo da costa, de Espinho ( 41° 0'46.97"N 8°38'46.96"W) até Praia da Torreira ( 40°44'29.61"N 8°43'11.65"W);**
- **Corredor com 50m de largura, ao longo da costa, de Praia Velha ( 39°46'14.31"N 9° 1'42.88"W) até Nazaré ( 39°36'22.92"N 9° 5'3.73"W);**
- **Altura máx.: 100m AGL;**
- **Período: 12SET-12NOV2017, do nascer ao pôr do sol.**

– Local / locais autorizado(s) em zonas sob jurisdição civil (ver Notas n.º 1, 2 e 3):

○ **n/a.**

– Local / locais autorizado(s) em zonas sob jurisdição civil com condições específicas a observar (ver Notas n.º 1, 2, 3 e 4):

○ **n/a.**

– N.º de série da(s) plataforma(s): **n/a.**

**Nota n.º 1.** : Em zonas sob jurisdição civil deverá, relativamente à utilização do espaço aéreo, observar o que está previsto no Regulamento n.º 1093/2016 de 24 de novembro, da ANAC.

**Nota n.º 2.** Proibida a recolha de imagens aéreas num raio de 100m com centro nas instalações identificadas no n.º 3, do art.º 11.º, do Regulamento n.º 1093/2016, excetuados os casos em que haja autorização emitida pelas entidades competentes responsáveis por essas instalações.

**Nota n.º 3.** A presente autorização não dispensa o cumprimento de outros regimes jurídicos constantes de diplomas legais e regulamentares que sejam, eventualmente, aplicáveis.

**Nota n.º 4.** A autorização para recolha de imagens nesta(s) coordenada(s) geográfica(as) está condicionada:

a. n/a.

Válida de / from **2017-09-12 a / to 2017-11-12**

Alfragide, 12 de setembro de 2017

  
O Chefe do Gabinete

---

José Augusto de Barros Ferreira  
Major-General



Autorização da captura e filmagens aéreas segundo a AAN



MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL  
AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL  
Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional

Autorização/Permission N.º AAN [ ] / [ ]

**FOTOGRAFIA E FILMAGEM AÉREAS/AERIAL PHOTOGRAPHY AND FILMING**

**1. Requerente/Applicant:**

Nome/Name: [ ]  
Actividade Profissional/Job: [ ]  
Morada/Address: [ ]  
Telefone/Telephone: [ ] Telemóvel/Mobile: [ ]  
"E-mail": [ ]

**2. Tipo de recolha de imagens aéreas/Kind of work:**

|                           |                      |                         |                          |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|
| a. Fotografia/Photography | c. Vertical/Vertical | e. Panorâmica/Panoramic | g. Ortofotos/Orthophotos |
| b. Filmagem/Filming       | d. Obliqua/Oblique   | f. Objectivo/Objective  | f. Outro/Other: [ ]      |

**3. Equipamento a utilizar/Equipment to be used:**

a. Marca/Brand name: [ ] b. Tipo/Type: [ ]

**4. Objectivos ou áreas a fotografar ou filmar/Places or areas involved:** [ ]

**5. Operador ou entidade para o trabalho em voo/Flight operator or entity:** [ ]

**6. Aeronave ou plataforma aérea/Aircraft or other platform:**

a. Tipo(s)/Type(s): [ ]  
b. Matricula(s)/Registration(s): [ ]  
c. Locais de operação/Airfields or other operation places: [ ]

**7. Data de início e fim (DDMMMAA)/Start and finish dates (DDMMYY):** [ ] / [ ] / [ ] e/and [ ] / [ ] / [ ]

**8. Finalidade do trabalho/Purpose of work:** [ ]

**9. Existirá divulgação das imagens ou produto audiovisual obtido?** Sim – Yes / Não – No  
*Will there be a broadcast of the images or audiovisual product obtained?:*

Local e data (DDMMMAA)/Place and date (DDMMYY) [ ] , [ ] / [ ] / [ ]

Assinatura/Signature [ ]

Alfragide, [ ] de [ ] de 20 [ ]

O Chefe do Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional

A Autoridade Aeronáutica Nacional

Observações e instruções de preenchimento no verso/Remarks and filling out instructions on the back

OBSERVAÇÕES E INSTRUÇÕES DE PREENCHIMENTO /  
REMARKS AND FILLING OUT INSTRUCTIONS:

- Item 1:** Os requerentes deverão ser aqueles que pretendem a realização do trabalho e não o executante, a não ser, como é óbvio, nos casos em que sejam uma e a mesma entidade. / *The applicants should be the ones who order the job and not the maker, unless, of course, they are the same.*
- Item 2:** Riscar o que não for aplicável. / *Cross out the options that are not applicable.*
- Item 3:** Descrição dos equipamentos a utilizar. / *Description of the equipment to be used.*
- Item 4:** Descrição detalhada dos objectivos ou locais. / *Detailed description of the objectives or locations.*
- Item 5:** Designação do Operador Aéreo ou entidade. / *Name of the Flight Operator or similar entity.*
- Item 6:** Caracterização da aeronave ou plataforma aérea e dos seus locais de operação. / *Characterization of the aircraft or other platform and its operating locations.*
- Item 7:** A data do início dos trabalhos será, no mínimo, no dia seguinte à formalização do pedido. / *The beginning of the work can only happen, at least, one day after the formal request.*
- Item 8:** Descrição da finalidade do trabalho aéreo. / *Description of the purpose of the work.*
- Item 9:** Riscar o que não for aplicável. No caso de haver divulgação do trabalho aéreo, em acréscimo, terá também de ser preenchido o Formulário devido. / *Cross out the options that are not applicable. If broadcasting of the images or audiovisual product is planned, than another Form should be filled out.*

**Observações / Remarks:**

Reitera-se, conforme preconizado pelo Dec. Lei n.º 248/91 de 16 de Julho regulamentado pelas Portarias n.º 837/91 de 16 de Agosto e n.º 362/97 de 2 de Junho, ser absolutamente interdito filmar, fotografar e/ou efectuar sobrevoos a alturas inferiores a 750 metros sobre instalações ligadas a órgãos de soberania e segurança interna.

Relativamente à realização de fotografia e/ou filmagem aéreas em áreas militares, reafirma-se que estão sujeitas às restrições de segurança que forem preconizadas para a especificidade da situação.

/

*Please be aware that, in accordance with Law n.º 248/91 of July 16<sup>th</sup>, Law n.º 837/91 of August 16<sup>th</sup> and Law n.º 362/97 of June 02<sup>nd</sup>, is absolutely forbidden to film, photograph and/or perform flights bellow 750 meters over governmental and internal security buildings.*

*Regarding the act of photograph and/or filming in military areas, it is stressed that it will depend on the specific restrictions that are in place for the specific situation.*

Autorização da divulgação de fotografia e filmagem aéreas segundo a AAN



MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL  
AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL  
Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional

Licença Divulgação/Broadcasting License N.º \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / AAN

**DIVULGAÇÃO DE FOTOGRAFIA E FILMAGEM AÉREAS /**  
**BROADCASTING OF AERIAL IMAGES OR AUDIOVISUAL PRODUCT**

1. Autorização/Permission N.º \_\_\_\_\_ de/from \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

2. Titular/Holder: \_\_\_\_\_

3. Requerente/Applicant:

Nome/Name: \_\_\_\_\_

Actividade Profissional/Job: \_\_\_\_\_

Morada/Address: \_\_\_\_\_

Telefone/Telephone: \_\_\_\_\_ Telemóvel/Mobile: \_\_\_\_\_

"E-mail": \_\_\_\_\_

4. Tipo de trabalho a ser divulgado/Kind of work to be broadcasted:

|                           |                      |                         |                          |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|
| a. Fotografia/Photography | c. Vertical/Vertical | e. Panorâmica/Panoramic | g. Ortofotos/Orthophotos |
| b. Filmagem/Filming       | d. Obliqua/Oblique   | f. Objectivo/Objective  | f. Outro/Other: _____    |

5. Contexto da divulgação/Broadcasting context:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Local e data (DDMMMAA)/Place and date(DDMMYY) \_\_\_\_\_, \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Assinatura/Signature \_\_\_\_\_

A Licença de Divulgação é concedida com os seguintes condicionalismos/  
The Broadcasting License is given with the following conditions:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Alfragide, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20 \_\_\_\_

O Chefe do Gabinete da  
Autoridade Aeronáutica Nacional

A Autoridade Aeronáutica Nacional

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Observações e instruções de preenchimento no verso/Remarks and filling out instructions on the back



OBSERVAÇÕES E INSTRUÇÕES DE PREENCHIMENTO /  
*REMARKS AND FILLING OUT INSTRUCTIONS:*

- Item 1:** Indicação do número e data da Autorização de recolha de imagens que origina este pedido. / *Indication of the number and date of the Permission that originated the request.*
- Item 2:** Indicação do Titular da Autorização que origina este pedido. / *Indication of the Holder of the Permission that originated the request.*
- Item 3:** Os requerentes deverão ser aqueles que pretendem a divulgação do trabalho. No caso de não serem o Titular da Autorização que origina este pedido, deverão apresentar declaração da entidade atestando a sua anuência à divulgação. / *The applicants should be the ones who want to broadcast the images or audiovisual product. In case of not being the Holder of the Permission that originated the request, a statement attesting the consent to this broadcast should be attached.*
- Item 4:** Riscar o que não for aplicável. / *Cross out the options that are not applicable.*
- Item 5:** Descrição completa dos moldes e termos em que esta divulgação será efectuada. / *Full description of the terms in which the broadcast will be made.*

**Observações/Remarks:**

- a. Sempre que, de acordo com as restrições legais vigentes, for considerado que a divulgação de imagens aéreas pode, de algum modo, vir a comprometer a Defesa Nacional, será requerido o desfoque dessas imagens (ou qualquer outra forma de desajuste considerada adequada). / *Where, in accordance with the legal restrictions, it is considered that the broadcast of the images or audiovisual product can, in any way, compromise National Defense, the blurring of the images will be required (the blurring may be replaced by any other means).*
- b. Poderá ser requerida uma cópia do material a ser divulgado no formato que for considerado mais adequado à situação específica. / *A copy of the images or audiovisual product to be broadcasted may be requested. The format will be the one considered to be appropriate to the specific situation.*

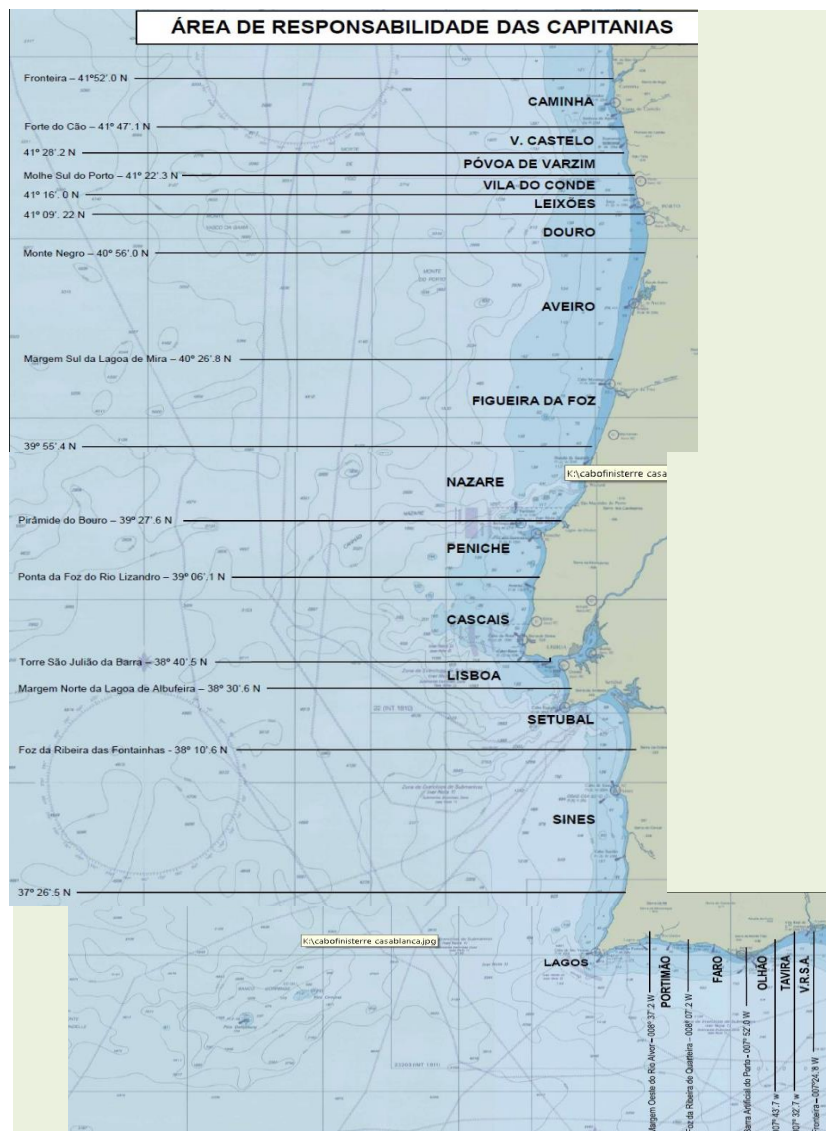


Figura 9.2 – Área de responsabilidade marítima de cada Porto em Portugal continental



## ANEXO D

### CHECKLIST MISSÃO DE VOO – DRONE

- 1) Para utilizar os óculos, ligar primeiro a GOPRO e só depois a bateria do drone;
- 2) Ligar a Bateria do drone, deixar o drone em stand-by durante cerca de 2, 3 minutos de forma ao seu GPS calibrar. Assim que o drone liga, pressionar o botão de forma a silenciar o aviso sonoro;
- 3) Fazer connect do Drone ao Mission Planner (porta COM);
- 4) Ligar o comando do drone (o comando tem que apresentar todos os botões virados para a frente aquando ligar);
- 5) Testar ligação do comando no Mission Planner, alterando os botões Loiter, Stabilized e Altitude Hold / ver o número de satélites (min 10);
- 6) Fazer WRITE da missão (passagem dos dados da missão para o drone);
- 7) Fazer READ (ver se a missão foi bem passada para o drone);
- 8) Tirar foto com a GOPRO ao telemóvel com a hora do GPS;
- 9) Drone pronto a voar;
- 10) Com o comando em LOITER subir manualmente até uma altitude segura e pressionar o botão AUTO e o drone realiza a missão planeada.

1\*- Apenas ligar a GO PRO primeiro se quisermos usar os óculos durante o voo



## ANEXO E

### Carregamento das Baterias

Para o carregamento das várias baterias, foi utilizado o mesmo transformador (Accucell S60), ilustrada na Figura 9.3.



Figura 9.3 – Transformador utilizado para o carregamento das várias baterias utilizadas.

#### Carregamento das baterias do drone

As baterias utilizadas para o funcionamento do *drone* (os seus rotores, GPS, hardware, etc.) são baterias do tipo Li-Po *Multistar High Capacity* de 6600 mAh (Figura 9.4).

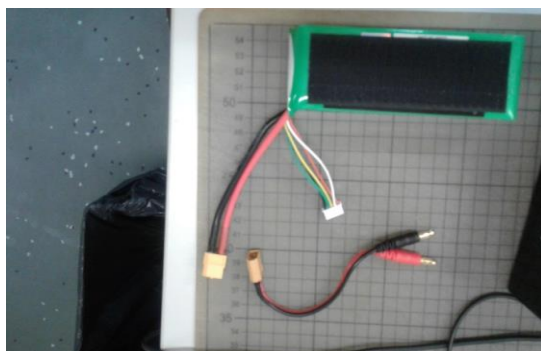


Figura 9.4 – Bateria Multistar High Capacity de 6600 mAh utilizada para o funcionamento do *drone* (Multistar, 2017).

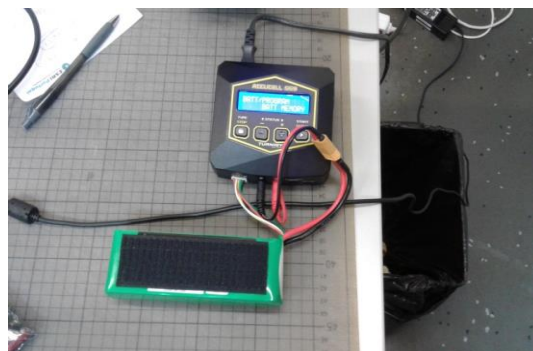
Para o carregamento destas baterias é utilizado os seguintes procedimentos:

1. Liga-se o adaptador à bateria (Figura 9.5a) e conecta-se o conjunto entre a bateria e o adaptador ao transformador (Figura 9.5b);
2. Escolhe-se o programa BATT MEMORY (Figura 9.5c) no transformador e, visto que se pretende o carregamento da bateria do *drone*, escolhe-se o programa 1 (Figura 9.5d).





a)



b)



c)



d)

Figura 9.5—Procedimentos para o carregamento das baterias do *drone*.

3. Após a selecção do programa 1, surge a seguinte interface no transformador, na qual se pressiona o botão *enter* até fazer um sinal sonoro (Figura 9.6a).
4. Neste momento a bateria encontra-se a carregar, onde na interface do transformador mostra a a carga que a bateria apresenta no momento, bem como o tempo que esta se encontra em carregamento (Figura 9.6b).
5. Quando a bateria estiver completamente carregada, o transformador emite um aviso sonoro, demonstrando na sua interface a mensagem *END: FINISH*. A bateria do *drone* apresenta-se completamente carregada quando indica 16,8V (Figura 9.6c).
6. Com cuidado, retira-se o adaptador da bateria e do transformador e procede-se ao carregamento das outras baterias.



a)



b)



(c)

Figura 9.6 – Procedimento do carregamento das baterias do *drone*.

### **Carregamento da bateria do comando do *drone* (estação de controlo)**

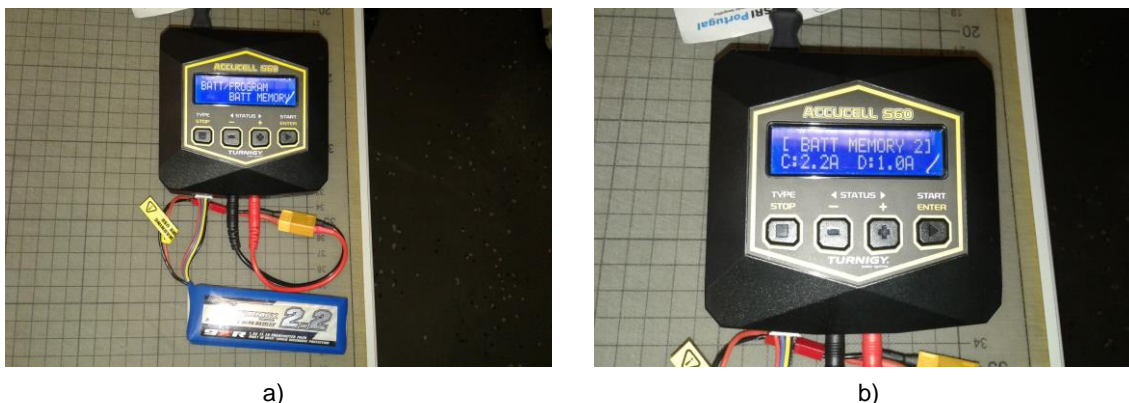
A bateria da estação de comando, similarmente às baterias do *drone*, é uma bateria do tipo Li-Po *Matched Turnigy* de 2200 mAh, como se pode observar na seguinte figura (Figura 9.7)



Figura 9.7– Bateria do comando do *drone* (estação de controlo).

Para o carregamento desta bateria procede-se a um procedimento semelhante ao da bateria do *drone*, embora com algumas alterações na utilização de diferentes adaptadores e a selecção de outro programa no transformador:

1. Liga-se o adaptador à bateria do comando e conecta-se o conjunto entre a bateria e o adaptador ao transformador (Figura 9.8a);
2. Seleciona-se o programa BATT MEMORY 2 e os procedimentos posteriores são iguais ao carregamento das baterias do *drone* (Figura 9.8b);
3. Quando a bateria apresentar 12,8V, esta encontra-se carregada e pode ser retirada com cuidado do transformador.



a) b)  
 Figura 9.8 – Carregamento da bateria do comando do *drone* (estação de controlo).

### Carregamento dos óculos do *drone*

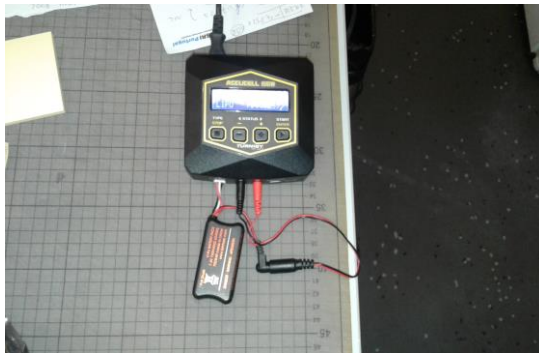
A bateria dos óculos *First Person View* é uma bateria do tipo Li-Po *Fat Shark* de 760 mAh, como se pode observar na Figura 9.9.



Figura 9.9 – Bateria *Fat Shark* dos óculos *Fat Shark* utilizada a visualização dos levantamentos fotográficos enquanto o voo realizado pelo *drone*.

O carregamento deste tipo de baterias é similar ao carregamento das baterias do *drone* e da estação de comando, variando na ligação dos adaptadores da bateria ao transformador e a seleção do programa de carregamento. Para o seu carregamento seguem-se os seguintes procedimentos:

1. Ligação do adaptador à bateria dos óculos e conecta-se o conjunto entre a bateria e o adaptador ao transformador (Figura 9.10a);
2. Seleciona-se o programa BATT MEMORY 3 e os procedimentos posteriores são iguais ao carregamento das baterias do *drone* (Figura 9.10b);
3. Quando a bateria apresentar 8,60V, encontra-se carregada e pode ser retirada com cuidado do transformador.



a)



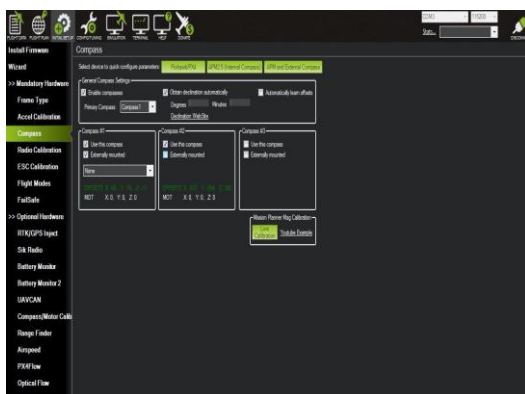
b)

Figura 9.10 – Carregamento da bateria dos óculos FPV Fat Shark.

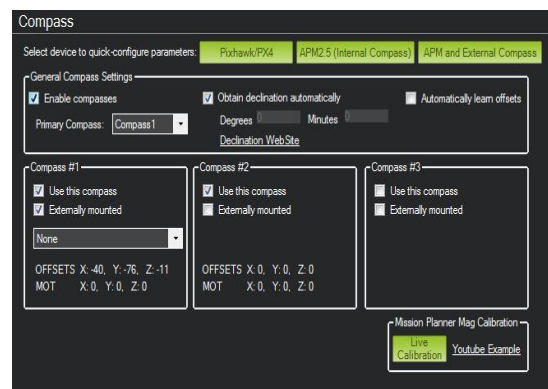
## Calibração do drone

Para a realização da calibração do *drone* hexacóptero, utilizando o *software Mission Planner*, seguem-se os seguintes procedimentos, os quais devem ser realizados por dois operadores e num local, de preferência, longe de possíveis anomalias magnéticas, como por exemplo um descampado:

1. Conexão do *drone* ao *Mission Planner*, utilizando uma porta USB via rádio (por norma liga-se através de uma porta COM);
2. Aquando do *drone* ligado ao *Mission Planner*, ir à opção *Initial Setup* e, de seguida, seleccionar a opção *Compass*, como se pode observar em (Figura 9.11a);
3. Pressiona-se o botão *Live Calibration* (Figura 9.11b) e um segundo operador vai pegar no *drone* e rodar este sobre si mesmo, posicionando-o em várias posições durante alguns segundos, calibrando os vários sensores, como se pode observar em (Figura 9.11c, Figura 9.11d, Figura 9.11e e Figura 9.11f)
4. No *Mission Planner*, quando a calibração estiver completa este emite um aviso na sua interface (Figura 9.11g e Figura 9.11h).



a)



b)

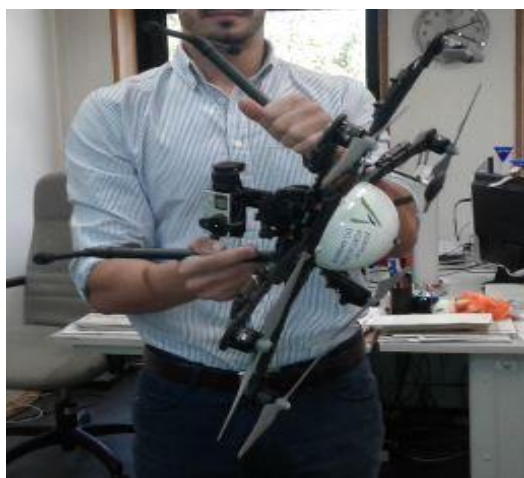




c)



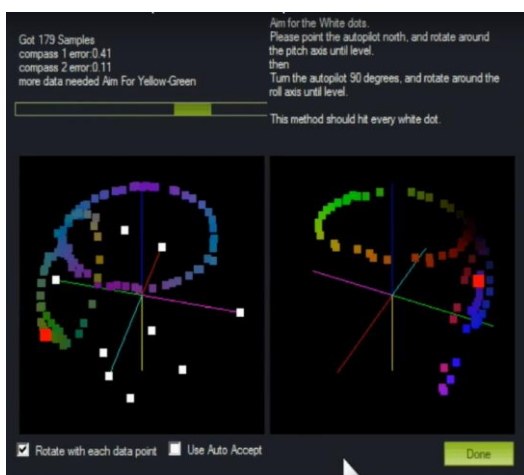
d)



e)



f)



g)



h)

Figura 9.11 – Procedimentos de calibração dos sensores do *drone*.